

运动对脑认知功能的调控作用

文青¹, 苗玉萌^{1,2}, 宋伦^{1,2}

(1.军事医学研究院 军事认知与脑科学研究所,北京 100850;2.河南师范大学 生命科学院,河南 新乡 453007)

摘要:运动不仅可以有效防治糖尿病、心血管疾病、肿瘤等慢性非传染性疾病,同时对于精神疾病和神经退行性病变也有较好的早期干预效果.因此,运动成了公认的无创性脑认知功能调节方法,不同种类的运动均可有效降低中长期精神疾病风险.从运动对学习、记忆、情绪、睡眠觉醒节律等几个方面,阐述运动对脑认知功能的调控作用及机制,以期能够为选择适当强度的运动训练方案,制订“运动处方”、提升脑认知能力提供理论依据.

关键词:运动;脑认知功能;学习记忆;情绪;睡眠觉醒节律

中图分类号:G804.2

文献标志码:A

文章编号:1000-2367(2025)03-0020-07

近年来,运动对脑认知功能的调控作用备受关注,适度运动能够提高认知水平已获得广泛共识.据不完全统计,目前已发现有超过20种不同的内分泌激素、细胞因子或代谢产物可以直接、间接地对脑内突触功能产生调控效果^[1].研究表明,运动可诱导特定组织释放相应的生物活性因子即运动因子,分泌到血液中以较远部位发挥调节作用,促进大脑健康和认知功能,主要表现为海马体体积和血流量的增加、树突和树突棘的形态变化、突触可塑性的增加等^[2].在模型动物实验中发现,运动可诱导脑源性神经因子(brain-derived neurotrophic factor, BDNF)表达水平升高,这对于增强海马的学习记忆功能和提升突触可塑性至关重要^[3].多项研究已证实,单次适度有氧运动可改善青春期前儿童和老年人的抑制性控制、认知灵活性和学习记忆^[4],且有氧运动和阻力运动均能够增强和巩固大鼠的记忆^[5-6].因此,目前的研究观点认为,机体运动过程可产生相关运动因子调控其组织器官,进而在整个生命周期中对脑功能产生积极的影响,既能够提高认知能力^[7],也可以缓解抑郁症等大脑相关性疾病^[8],但不同运动时间、不同强度和模式以及不同的运动因子对脑功能调节的潜在机制还有待深入研究.如表1所示,本文将从学习记忆功能、负性情绪及睡眠觉醒节律3个典型的认知过程出发,对运动改善脑认知功能的作用机制及研究现状进行综述,同时关注不同运动方式、时间及强度对脑认知功能的调控,以期作为运动作为临床治疗手段提供参考.

1 运动对学习记忆功能的调节作用

高等生物具有利用新获取的知识和过去的经验产生行为变化进而适应环境的能力,这种能力被称为记忆,而获取新信息的过程被称为学习,学习记忆在整个物种进化过程中至关重要^[9].大量动物实验研究以及基

收稿日期:2023-06-09;修回日期:2024-02-15.

基金项目:军队科研项目(XXXXX22X1031).

作者简介:文青(1991—),女,山东临沂人,军事医学研究院助理研究员,博士,研究方向为应激状态下脑体功能变化,
E-mail:wenqingemmy@163.com.

通信作者:宋伦,军事医学研究院研究员,博士,博士生导师,研究方向为睡眠节律与脑功能调控,E-mail:lunsong0752@163.com.

引用本文:文青,苗玉萌,宋伦.运动对脑认知功能的调控作用[J].河南师范大学学报(自然科学版),2025,53(3):20-26.
(Wen Qing, Miao Yumeng, Song Lun. The regulatory role of motor activity on cognitive function[J]. Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition), 2025, 53(3): 20-26. DOI:10.16366/j.cnki.1000-2367.2023.06.09.0003.)

于人体的流行病学调查均表明运动能够促进学习记忆的形成.研究发现有氧运动及抗阻运动均能促进大鼠的学习及空间记忆能力^[10].除此之外,研究还发现 12 周的抗阻运动有助于大鼠在衰老过程中记忆的维持^[11].针对健康年轻人的一项研究发现仅 10 min 的急性轻度运动即可改善记忆^[12],而高强度的运动对心肺健康具有更强的影响^[13],改善学习记忆的效果也更好.还有研究发现 12 个月的有氧运动干预能有效改善伴有阿尔茨海默氏病风险的老年人的记忆力^[14].

表 1 不同运动类型对脑认知功能的调控作用
Tab. 1 Effects of different exercise types on brain cognitive function

对脑认知的调控作用	调节机制	运动类型
学习记忆功能	1.促进海马区神经发生及神经可塑性 2.调节 BDNF 等神经营养因子在海马及皮层中的表达 3.通过调节相关神经炎症因子及脑血流量水平	有氧运动 抗阻运动
负性情绪	1.增加海马、前额叶皮层及前扣带皮层体积,改善中枢神经系统组织结构 2.防止 5-羟色胺和去甲肾上腺素等神经递质分子的功能失调 3.调节炎症通路中相关细胞因子,降低神经炎性反应 4.降低氧化性应激和炎症,减少内皮损伤 5.诱导运动因子发挥抗抑郁效应 6.调节抑郁情绪相关神经传导机制:右侧眶额叶皮层-杏仁核的功能链接	有氧运动 无氧运动
睡眠觉醒节律	1.通过促进多巴胺及 5-羟色胺的分泌,缓解压力及负面情绪 2.调节昼夜节律体液标志物分子褪黑素的分泌 3.调整昼夜节律的相移	有氧运动 抗阻运动

运动改善学习记忆功能的机制主要包括以下几个方面:(1)运动对学习记忆能力的改善可能与其对大脑的结构和功能产生的积极影响相关.大脑的学习记忆功能与海马密切相关,而有氧运动与海马区的大小存在正向相关性.研究发现,人体有氧运动 1 a 后海马体积平均增加约 2%,而进行拉伸的人海马体积平均降低约 1.4%^[15].基于模型动物的研究也发现运动能够影响海马区的神经发生及神经可塑性,并且这种影响可能与运动强度、运动频率、运动量以及运动方式相关.首先,在运动强度方面,低、中等强度运动均可促进大鼠海马齿状回神经细胞增殖^[16],中等强度运动还能促进小鼠海马 CA1 区神经发生,增加 CA1 区树突复杂性^[17].其次,在运动频率方面,研究发现长期运动可以有效增加海马神经元数量,延缓海马萎缩^[18],其他研究也发现隔日低强度间歇训练对大鼠海马齿状回神经发生最为有利,递增运动强度的隔周训练模式也可以促进大鼠海马齿状回神经发生^[19],最后,在运动量方面,有研究发现,适度运动可减缓应激引起的海马神经元损伤,抑制神经元凋亡,而过度运动后海马神经元排列散乱、神经细胞结构松散,海马神经元受到损伤^[20];(2)营养因子也在介导运动改善学习记忆中发挥重要作用,低强度运动训练通过增加神经营养因素影响学习记忆,也是对抗神经系统疾病的重要因素.如脑源性神经因子(BDNF),BDNF 是一种活动依赖性蛋白质,在海马体和皮层中高度表达^[21],可通过调节参与学习和记忆关键受体—N-甲基-D-天冬氨酸(N-methyl-D-aspartate,NM-DA)的活性来调节突触的可塑性^[22].研究人员发现,BDNF 在血清中含量的提升能够引起记忆相关脑区的激活,进而增强记忆^[23].运动过程中肌肉收缩能促进骨骼肌中运动因子 BDNF 的产生,以旁分泌方式调控骨骼肌发育,调节记忆相关 BDNF 的产生和分泌,改变膜受体表达,进而改变突触的可塑性,促进记忆.啮齿动物研究的结果也证实 BDNF 的确介导了运动对神经可塑性和记忆力的有益影响^[24].其他的营养因子如胰岛素样生长因子(insulin-like growth factor 1,IGF-1)也参与了运动对学习记忆功能的调控^[25];(3)此外,研究也发现运动改善学习记忆功能可能还与神经炎症及脑血流量等相关.例如有研究发现运动能够上调小鼠血浆中抗炎因子簇集素的水平,而注射了运动小鼠血浆的年轻小鼠的学习记忆能力均有所增强,与模型动物的研究结果相一致,研究者还发现轻度认知功能损害患者在进行 6 月的身体锻炼干预后,其血浆中簇集素含量水平有所上升,并且认知能力和记忆力也得到一定改善^[26].综合以上多项研究,不难发现恰当的运动能够促进学习、记忆功能,但是还应该注意的是运动的效果除了受运动自身的影响,还受个人健康状况与年龄等的影响.

2 运动对负性情绪的调节作用

近年来,多项研究表明运动对预防、治疗抑郁等情绪障碍类疾病具有良好效果.很多基于模型动物的研究证实了慢性运动产生的抗抑郁和抗焦虑效果与药物干预相似甚至更高^[27].美国精神病学协会开展的一项前瞻性研究 Meta 分析报告称,与体育活动水平较低的人相比,体育活动水平较高的人患抑郁症的概率降低 17%^[28].实际上,有研究者发现 30 min 的运动疗法即可改善抑郁症患者的情绪,减少焦虑和抑郁症状^[29].

目前多项基于运动疗法治疗抑郁或抑郁症状的临床研究表明,不同类型与不同强度的有氧运动与无氧运动都具有抗抑郁作用.在运动调节啮齿类动物的情绪相关实验中表明,6 周的自主跑轮运动和强迫游泳的有氧运动可有效改善 AD 模型小鼠的空间记忆以及焦虑抑郁情绪^[30].一项近 13 万人的系统性评估研究显示运动能有效改善普通人群、抑郁症患者及慢性疾病患者的抑郁和焦虑症状,研究还发现包括有氧、抗阻在内的所有运动方式均能改善抑郁和焦虑症状,且中高等强度运动的改善效果优于低强度的运动^[31].有氧运动还被证实对抑郁病人的症状严重程度以及认知表现具有改善作用,IMBODEN 等^[32]发现有氧运动具有与伸展运动程度相当的抗抑郁效果,并且对工作记忆也具有改善作用.而对于不同的人群而言,其适合的运动强度应根据其自身情况及是否可以长期坚持加以考虑.目前运动频率对抑郁症影响的相关研究不够完整,大多数试验调整为每周 3~5 次的锻炼方案,运动计划的持续时间从 4~24 周不等,大多数实验选择 12 周^[32],根据现有研究来看,高频率运动对预防和治疗抑郁症的效果较佳.

运动调节抑郁的生物学机制主要包括以下几方面:(1)运动通过调控海马神经细胞凋亡与神经发生干预抑郁症.研究发现,有氧运动干预后可增加海马体体积以及前额叶皮层(prefrontal cortex, PFC)和前扣带皮层(anterior cingulate cortex, ACC)的灰质体积,进而改善中枢神经系统组织的形态结构,提高 BDNF、VEGF 和 IGF-1 等神经营养因子的水平,从而增强神经元可塑性,提高患者的学习、记忆能力与情绪调控能力^[33-35];(2)运动通过调控神经递质的表达改善抑郁症.目前认为抑郁症的主要病因是 5-羟色胺(5-HT)和去甲肾上腺素(NE)等神经递质功能失调^[36].研究表明,规律性运动能够防止全脑、海马及前额皮质内单胺类神经递质 NE、多巴胺(DA)、5-HT 及其代谢产物 5-羟吲哚乙酸的含量下降,提高成年海马细胞的增殖和存活率,进而防止抑郁样行为的发生^[35];(3)调节炎症通路干预抑郁症.运动通过调节运动因子中免疫细胞分泌的细胞因子,包括增加抗炎细胞因子 IL-10 的产生,减少促炎细胞因子 IL-6 表达水平,以及调控犬尿氨酸代谢过程中的犬尿氨酸 3-单加氧酶的表达,降低神经炎症反应,减少神经毒性作用和认知功能损伤,进而改善抑郁症^[37];(4)适当运动可有效降低氧化性应激和炎症,减少内皮损伤,提高抗氧化水平,并促进超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶和谷胱甘肽还原酶的表达^[38];(5)运动还可以通过诱导运动因子发挥抗抑郁的效应.运动因子是指急性或者慢性运动诱发释放的信号分子,可通过自分泌、旁分泌、内分泌发挥运动保护效应,常见的运动因子包括脂肪细胞分泌的脂因子,肌肉细胞分泌的肌因子等^[39].其中,瘦素是由脂肪细胞分泌的脂因子,可作用于中枢神经系统内的受体,调节下丘脑-垂体-肾上腺轴功能,促进海马神经发生和平衡线粒体代谢保护神经分泌系统,进而介导运动的抗抑郁作用^[40].

除了以上各信号分子介导的机制外,研究者还发现了运动调节抑郁情绪的神经传导机制,主要涉及右侧眶额叶皮层-杏仁核的功能链接.杏仁核是与纹状体、额叶和颞叶结构相关的菱形大脑区域^[41],在对负面情绪刺激的情绪处理反应中起主要作用^[42].临床研究发现,情绪障碍患者杏仁核灰质体积受损,杏仁核功能活动异常^[43].而中等强度运动和高强度间歇运动可改善受试者的情绪,这其中涉及运动调节杏仁核反应性及其与右侧眶额叶皮层和岛叶的功能连接^[44].研究发现,高强度运动干预后杏仁核和右前叶之间的功能连接升高,而低强度运动干预后功能连接降低^[45].

3 运动对睡眠觉醒节律的调节作用

生物钟是生物体内一种普遍存在的分子振荡器,控制和调节大量行为和生理过程^[46].哺乳动物的大多数生理过程和行为都存在昼夜节律的变化特征,以适应地球自转产生的 24 h 光暗循环周期.睡眠觉醒节律是昼夜节律运行最为典型的生理性输出表现,与运动之间具有非常复杂的相互影响.运动作为睡眠障碍患者

的自助疗法之一,对睡眠的有益调节作用得到了多方证实。

不同的运动强度可能会产生不同的睡眠调节效果。研究表明,长时间的高强度运动会因光线暴露的时间延长,抑制褪黑素的分泌,从而影响褪黑素的生物节律,进而影响睡眠觉醒周期及时长^[47]。在探究有氧运动对睡眠的影响时,美国运动医学学会和美国心脏协会建议选择 30 min 的适度运动^[48],这对缩短入睡潜伏期、总睡眠时间和睡眠效率都具有有益影响。另外,运动强度的增加可能会使睡眠需求增加,从而提高睡眠效率。但一些研究也表明,运动强度对睡眠无显著影响甚至呈负面影响。在美国学龄前儿童睡眠问卷评估显示,体育锻炼强度与睡眠问题无关。STAVROU 等^[49]还发现,过高强度的训练会干扰入睡,出现入睡困难、睡眠不安等症状。

运动改善睡眠/觉醒节律主要通过以下机制:(1)运动可通过调节情绪改善睡眠。已有研究表明,运动时分泌的 5-HT 和 DA 利于缓解压力和负面情绪,心理压力和负面情绪的减少有助于改善睡眠质量^[50]。且有研究表明,有氧运动结合抗阻运动可以抑制过度唤醒,减少睡眠潜伏期和增加慢波睡眠来改善睡眠质量;(2)运动可调节褪黑素的分泌从而调节睡眠觉醒节律。褪黑素由松果体分泌,是下丘脑视交叉上核感受光照明暗交替变化后分泌的昼夜节律体液标志物分子。褪黑素可通过激活 MT1 受体和 MT2 受体来调节睡眠,夜晚运动或者长时间的高强度体育活动会因光线暴露的时间延长,抑制褪黑素的分泌^[47],进而影响睡眠/觉醒节律;(3)运动可以造成昼夜节律的相移,从而影响睡眠/觉醒节律,其影响效果与运动实施时间具有显著关系^[51]。针对人类和啮齿动物的研究表明,骨骼肌强度和氧化能力在 24 h 范围内表现出显著差异^[52],因此,在一天中的不同时间运动,对机体的影响明显不同。研究表明,小鼠晚间活动期的运动与早上活跃期的运动相比,减少了高脂肪饮食期间体质量的积累^[53]。基于人类研究表明:昼夜节律较为正常者,在晨练时出现昼夜节律相位提前(0.49 ± 0.25) h,但在晚上运动时相位延迟(-0.41 ± 0.29) h;相比之下,昼夜节律紊乱者于早晨或晚上运动益于调节相位变化^[54]。

运动持续时间和强度也可能会影响昼夜节律相移。有研究报道,3 h 低强度运动和 1 h 高强度运动会引起幅度和方向相似的相移^[54];深夜剧烈的有氧运动不会损害训练有素运动员的睡眠^[55],但可能会对未经训练的人的睡眠产生负面影响^[56]。目前,已有研究表明适度的有氧运动可能是一种潜在的抑郁症患者失眠的辅助治疗手段^[57],但对于不同的运动强度对人体睡眠/觉醒节律的影响以及哪种运动强度最为有利还需进一步探究。因此,基于时间类型的个性化运动时间处方可以缓解年轻人的昼夜节律失调。

4 展 望

越来越多的实验及临床证据提示运动能够改善脑认知功能。尽管如此,运动疗法尚未在临床上被广泛采用,个性化运动干预方案或称“运动处方”的确定是限制其临床应用的主要瓶颈之一。近日发布的《运动处方中国专家共识(2023)》明确了运动处方的内容包括运动频率、强度、方式、时间、总量、运动进阶 6 方面的基本内容,规定运动强度应设定出安全有效范围;运动时间应设定出最低有效推荐量;运动频率与运动总量以周为最小计量单位。该专家共识的发布将为针对脑认知功能改善的运动干预方案的确定提供指导。考虑到不同年龄组和人群在生理过程中的差异,运动对脑认知功能的调控作用研究应考虑不同年龄变化和个体差异等重要因素。应根据应用目的,制订针对应用对象的精准的、个性化运动方案。因此,需开展大规模的临床前人群流行病学调查,研究确定针对特定人群的运动干预方案。此外,运动改善脑认知功能的机制尚未研究清楚,目前已知的作用机制包括调控脑结构、脑血流量、突触可塑性、神经连接及营养因子等。运动可影响身体的多个器官,并非通过单一机制介导对大脑及其功能的调控。最近的研究也发现外周器官在运动改善认知功能中发挥着重要作用,比如骨骼肌、肝脏、脂肪组织及肠道等。机制研究仍是未来运动走向临床应用的关键,这不仅有助于运动方案的最终确定,也有助于发展基于运动的复合干预方案。值得注意的是,运动机体的多种器官组织,如肌肉骨骼系统、泌尿系统、呼吸系统、心脑血管系统、神经系统、代谢系统等均有调控作用,实际应用中,应从全局出发,综合考虑后确定最终方案。

作者贡献:文青和苗玉萌为共同第一作者。

参 考 文 献

- [1] VINTS W A J, LEVIN O, FUJIYAMA H, et al. Exerkines and long-term synaptic potentiation: mechanisms of exercise-induced neuroplasticity[J]. *Frontiers in Neuroendocrinology*, 2022, 66: 100993.
- [2] COTMAN C W, BERCHTOLD N C, CHRISTIE L A. Exercise builds brain health: key roles of growth factor cascades and inflammation[J]. *Trends in Neurosciences*, 2007, 30(9): 464-472.
- [3] WRANN C D, WHITE J P, SALOGIANNIS J, et al. Exercise induces hippocampal BDNF through a PGC-1 α /FNDC5 pathway[J]. *Cell Metabolism*, 2013, 18(5): 649-659.
- [4] LUDYGA S, GERBER M, BRAND S, et al. Acute effects of moderate aerobic exercise on specific aspects of executive function in different age and fitness groups: a meta-analysis[J]. *Psychophysiology*, 2016, 53(11): 1611-1626.
- [5] SIETTE J, REICHEL T A C, WESTBROOK R F. A bout of voluntary running enhances context conditioned fear, its extinction, and its re-consolidation[J]. *Learning & Memory*, 2014, 21(2): 73-81.
- [6] FERNANDES J, SOARES J C, DO AMARAL BALIEGO L G, et al. A single bout of resistance exercise improves memory consolidation and increases the expression of synaptic proteins in the hippocampus[J]. *Hippocampus*, 2016, 26(8): 1096-1103.
- [7] GOMEZ-PINILLA F, HILLMAN C. The influence of exercise on cognitive abilities[J]. *Comprehensive Physiology*, 2013, 3(1): 403-428.
- [8] ABE K. Total daily physical activity and the risk of AD and cognitive decline in older adults[J]. *Neurology*, 2012, 79(10): 1071.
- [9] CASSILHAS R C, TUFIK S, DE MELLO M T. Physical exercise, neuroplasticity, spatial learning and memory[J]. *Cellular and Molecular Life Sciences: CMLS*, 2016, 73(5): 975-983.
- [10] CASSILHAS R C, LEE K S, FERNANDES J, et al. Spatial memory is improved by aerobic and resistance exercise through divergent molecular mechanisms[J]. *Neuroscience*, 2012, 202: 309-317.
- [11] SERRA F T, CARDOSO F D S, PETRACONI N, et al. Resistance exercise improves learning and memory and modulates hippocampal metabolomic profile in aged rats[J]. *Neuroscience Letters*, 2022, 766: 136322.
- [12] SUWABE K, BYUN K, HYODO K, et al. Rapid stimulation of human dentate gyrus function with acute mild exercise[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2018, 115(41): 10487-10492.
- [13] BHERER L, ERICKSON K I, LIU-AMBROSE T. A review of the effects of physical activity and exercise on cognitive and brain functions in older adults[J]. *Journal of Aging Research*, 2013, 2013: 657508.
- [14] THOMAS B P, TARUMI T, SHENG M, et al. Brain perfusion change in patients with mild cognitive impairment after 12 months of aerobic exercise training[J]. *Journal of Alzheimer's Disease: JAD*, 2020, 75(2): 617-631.
- [15] ERICKSON K I, VOSS M W, PRAKASH R S, et al. Exercise training increases size of hippocampus and improves memory[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108(7): 3017-3022.
- [16] KIM S H, KIM H B, JANG M H, et al. Treadmill exercise increases cell proliferation without altering of apoptosis in dentate gyrus of Sprague-Dawley rats[J]. *Life Sciences*, 2002, 71(11): 1331-1340.
- [17] TSAI S F, KU N W, WANG T F, et al. Long-term moderate exercise rescues age-related decline in hippocampal neuronal complexity and memory[J]. *Gerontology*, 2018, 64(6): 551-561.
- [18] JIANG L, MA J, ZHANG Y, et al. Effect of running exercise on the number of the neurons in the hippocampus of young transgenic APP/PS1 mice[J]. *Brain Research*, 2018, 1692: 56-65.
- [19] 姜淑杰, 刁玮, 陈佩杰. 运动频率和递增强度运动对大鼠海马神经发生的影响[J]. *体育科学*, 2010, 30(1): 66-69.
- LOU S J, DIAO W, CHEN P J. Effect of exercise frequency and increasing intensity exercise on hippocampal neurogenesis in rats[J]. *China Sport Science*, 2010, 30(1): 66-69.
- [20] 王富鸿, 李雪, 邓文骞, 等. 过度负荷运动对大鼠空间学习记忆能力及海马生长相关蛋白的影响[J]. *武汉体育学院学报*, 2015, 49(2): 72-77.
- WANG F H, LI X, DENG W Q, et al. Effect of overload exercise on spatial learning and memory abilities and GAP-43 expression in rats' hippocampus[J]. *Journal of Wuhan Institute of Physical Education*, 2015, 49(2): 72-77.
- [21] LIPSKY R H, MARINI A M. Brain-derived neurotrophic factor in neuronal survival and behavior-related plasticity[J]. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2007, 1122: 130-143.
- [22] BRAMHAM C R, MESSAOUDI E. BDNF function in adult synaptic plasticity: the synaptic consolidation hypothesis[J]. *Progress in Neurobiology*, 2005, 76(2): 99-125.
- [23] CASTRÉN E, MONTEGGIA L M. Brain-derived neurotrophic factor signaling in depression and antidepressant action[J]. *Biological Psychiatry*, 2021, 90(2): 128-136.
- [24] KUHNE L A, KSIEZARCZYK A M, BRAUMANN K M, et al. The effects of acute cardiovascular exercise on memory and its associations with exercise-induced increases in neurotrophic factors[J]. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 2021, 13: 750401.
- [25] CETINKAYA C, SISMAN A R, KIRAY M, et al. Positive effects of aerobic exercise on learning and memory functioning, which correlate

- with hippocampal IGF-1 increase in adolescent rats[J].Neuroscience Letters,2013,549:177-181.
- [26] DE MIGUEL Z,KHOURY N,BETLEY M J,et al.Exercise plasma boosts memory and dampens brain inflammation via clusterin[J].Nature,2021,600:494-499.
- [27] DUMAN C H,SCHLESINGER L,RUSSELL D S,et al.Voluntary exercise produces antidepressant and anxiolytic behavioral effects in mice[J].Brain Research,2008,1199:148-158.
- [28] PEARCE M,GARCIA L,ABBAS A,et al.Association between physical activity and risk of depression:a systematic review and meta-analysis[J].JAMA Psychiatry,2022,79(6):550-559.
- [29] 张振东,李松璞,张文婧,等.青少年感知的体育教师自主性支持与学校幸福感的关系探究:坚毅品质的中介作用[J].河南师范大学学报(自然科学版),2022,50(4):129-135.
- ZHANG Z D,LI S P,ZHANG W J,et al.The relationship between teenage perceived physical education teachers' autonomy support and school happiness:the mediating role of grit[J].Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition),2022,50(4):129-135.
- [30] 张楠,王莉智,杨桂姣,等.自主跑轮运动对阿尔兹海默病模型小鼠认知、情绪以及杏仁核炎症因子表达的影响[J].神经解剖学杂志,2017,33(6):741-747.
- ZHANG N,WANG L Z,YANG G J,et al.Effects of voluntary wheel running on the cognition,emotion and the expression of inflammatory response protein in amygdala of AD mice[J].Chinese Journal of Neuroanatomy,2017,33(6):741-747.
- [31] SINGH B,OLDS T,CURTIS R,et al.Effectiveness of physical activity interventions for improving depression,anxiety and distress:an overview of systematic reviews[J].British Journal of Sports Medicine,2023,57(18):1203-1209.
- [32] IMBODEN C,GERBER M,BECK J,et al.Aerobic exercise or stretching as add-on to inpatient treatment of depression:similar antidepressant effects on depressive symptoms and larger effects on working memory for aerobic exercise alone[J].Journal of Affective Disorders,2020,276:866-876.
- [33] REDWINE L S,WILSON K,PUNG M A,et al.A randomized study examining the effects of mild-to-moderate group exercises on cardiovascular,physical,and psychological well-being in patients with heart failure[J].Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention,2019,39(6):403-408.
- [34] SCHUCH F B,VASCONCELOS-MORENO M P,BOROWSKY C,et al.Exercise and severe depression:preliminary results of an add-on study[J].Journal of Affective Disorders,2011,133(3):615-618.
- [35] KIUCHI T,LEE H,MIKAMI T.Regular exercise cures depression-like behavior via VEGF-Flk-1 signaling in chronically stressed mice[J].Neuroscience,2012,207:208-217.
- [36] 马坤,刘金美,付翠元,等.运动对抑郁症的干预作用及机制研究进展[J].中国体育科技,2020,56(11):13-24.
- MA K,LIU J M,FU C Y,et al.Research progress on the intervention effect and mechanism of exercise on depression[J].China Sport Science and Technology,2020,56(11):13-24.
- [37] LIU I T,LEE W J,LIN S Y,et al.Therapeutic effects of exercise training on elderly patients with dementia:a randomized controlled trial[J].Archives of Physical Medicine and Rehabilitation,2020,101(5):762-769.
- [38] EUTENEUER F,DANNEHL K,DEL REY A,et al.Immunological effects of behavioral activation with exercise in major depression:an exploratory randomized controlled trial[J].Translational Psychiatry,2017,7(5):e1132.
- [39] CHOW L S,GERSZTEN R E,TAYLOR J M,et al.Exerkines in health,resilience and disease[J].Nature Reviews Endocrinology,2022,18:273-289.
- [40] 薛香莉,刘微娜,漆正堂,等.脂肪细胞因子与运动的抗抑郁作用[J].体育科学,2016,36(11):66-74.
- XUE X L,LIU W N,QI Z T,et al.Adipocytokines and the antidepressant effects of exercise[J].Sports Science,2016,36(11):66-74.
- [41] SWANSON L W,PETROVICH G D.What is the amygdala? [J].Trends in Neurosciences,1998,21(8):323-331.
- [42] LEDOUX J.The emotional brain,fear,and the amygdala[J].Cellular and Molecular Neurobiology,2003,23(4):727-738.
- [43] MILHAM M P,NUGENT A C,DREVETS W C,et al.Selective reduction in amygdala volume in pediatric anxiety disorders:a voxel-based morphometry investigation[J].Biological Psychiatry,2005,57(9):961-966.
- [44] CHEN Y C,CHEN C Y,MARTÍNEZ R M,et al.Habitual physical activity mediates the acute exercise-induced modulation of anxiety-related amygdala functional connectivity[J].Scientific Reports,2019,9:19787.
- [45] CHO H B,BUELER C E,DIMUZIO J,et al.Negative mood states correlate with laterobasal amygdala in collegiate football players[J].BioMed Research International,2018,2018:8142631.
- [46] CUSUMANO P,DAMULEWICZ M,CARBOGNIN E,et al.The RNA helicase BELLE is involved in circadian rhythmicity and in transposons regulation in Drosophila melanogaster[J].Frontiers in Physiology,2019,10:133.
- [47] 董毅.生物节律与运动[J].中国体育科技,2019,55(4):22-30.
- DONG Y.Biorhythm and exercise[J].China Sport Science and Technology,2019,55(4):22-30.
- [48] BRUPBACHER G,ZANDER-SCHELLENBERG T,STRAUS D,et al.The acute effects of aerobic exercise on sleep in patients with unipolar depression:a randomized controlled trial[J].Sleep,2021,44(11):177.

[49] STAVROU V,VAVOUGIOS GD,BARDAKA F,et al.The effect of exercise training on the quality of sleep in nationallevel adolescent finswimmers[J].Sports Med Open,2019,5(1):34.

[50] LUCA M, LUCA A.Oxidative stress-related endothelial damage in vascular depression and vascular cognitive impairment: beneficial effects of aerobic physical exercise[J].Oxidative Medicine and Cellular Longevity,2019,2019(1):8067045.

[51] HASKELL W L,LEE I M,PATE R R,et al.Physical activity and public health:updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association[J].Medicine and Science in Sports and Exercise,2007,39(8):1423-1434.

[52] BLANCO-CENTURION C A,SHIROMANI P J.Beneficial effects of regular exercise on sleep in old F344 rats[J].Neurobiology of Aging,2006,27(12):1859-1869.

[53] VAN MOORSEL D,HANSEN J,HAVEKES B,et al.Demonstration of a day-night rhythm in human skeletal muscle oxidative capacity [J].Molecular Metabolism,2016,5(8):635-645.

[54] THOMAS J M,KERN P A,BUSH H M,et al.Circadian rhythm phase shifts caused by timed exercise vary with chronotype[J].JCI Insight,2020,5(3):134270.

[55] YOUNGSTEDT S D,KRIPKE D F,ELLIOTT J A.Is sleep disturbed by vigorous late-night exercise? [J].Medicine and Science in Sports and Exercise,1999,31(6):864-869.

[56] FAIRBROTHER K,CARTNER B,TRIPLETT N T,et al.The effects of aerobic exercise timing on sleep architecture[J].Medicine & Science in Sports Exercise,2011,43(5):879.

[57] DICKINSON J M,DLUGOS A C,NAYMIK M A,et al.Transcriptome response of human skeletal muscle to divergent exercise stimuli [J].Journal of Applied Physiology,2018,124(6):1529-1540.

The regulatory role of motor activity on cognitive function

Wen Qing¹, Miao Yumeng^{1,2}, Song Lun^{1,2}

(1. Institute of Military Cognition and Brain Science, Academy of Military Sciences, Beijing 100850, China;
2. College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

Abstract: Exercise has been widely proved to not only prevent and treat chronic noncommunicable diseases such as diabetes, cardiovascular disease and tumor, but also be a good early intervention strategy for mental and neurodegenerative disease. Therefore, exercise is recognized as a non-invasive method for regulating brain cognitive function, and different kinds of exercise can effectively reduce the risk of medium and long-term mental diseases. This paper mainly discusses the regulation effect and mechanism of exercise on brain cognitive function, including learning, memory, emotion, sleep and wake rhythm, so as to provide theoretical basis for selecting appropriate intensity exercise training program, formulating "exercise prescription" and improving brain cognitive ability.

Keywords: exercise; cognitive function; learning and memory; emotion; sleep-wake rhythm

[责任编辑 刘洋 赵晓华]