

## 户外运动对 ADHD 儿童执行功能影响的路径研究

李 雪 张博华\*

贵州医科大学运动与健康学院, 贵州 贵阳 550000

**[摘要]**本研究通过整合神经影像学、认知心理学以及运动干预的实证数据,系统揭示了户外运动对 ADHD 儿童执行功能的多维度作用路径。研究表明,户外运动可通过以下机制改善执行功能:其一,在生理层面,中高强度有氧运动(如徒步、攀岩、定向)能够显著促进脑源性神经营养因子(BDNF)的分泌,从而增强前额叶皮层与基底神经节之间的神经连接,进而提升抑制控制、工作记忆及认知灵活性;其二,在行为层面,开放技能类活动(如徒步、登山)需要个体进行动态决策和环境适应,这种反复练习的过程有助于强化中央执行功能;其三,在自然环境层面,接触自然能够降低皮质醇水平、调节多巴胺分泌并提供低刺激感官输入,从而有效缓解 ADHD 儿童的注意力疲劳。此外,自然光暴露和绿地接触可通过增强肠道-大脑轴功能及降低炎症反应,间接优化执行功能的神经基础。本研究旨在为 ADHD 儿童的运动康复方案设计提供了跨学科理论支持,并强调应结合运动类型、环境特征及个体差异制定个性化干预策略。

**[关键词]**户外运动; ADHD 儿童; 执行功能

DOI: 10.33142/jscs.v5i5.17644

中图分类号: R74

文献标识码: A

### A Path Study on the Effects of Outdoor Sports on Executive Function in Children with ADHD

LI Xue, ZHANG Bohua\*

School of Sports and Health, Guizhou Medical University, Guiyang, Guizhou, 550000, China

**Abstract:** This study systematically revealed the multidimensional pathways of outdoor exercise on executive function in children with ADHD by integrating empirical data from neuroimaging, cognitive psychology, and exercise intervention. Research has shown that outdoor exercise can improve executive function through the following mechanisms: firstly, at the physiological level, moderate to high-intensity aerobic exercise (such as hiking, rock climbing, and orienteering) can significantly promote the secretion of brain-derived neurotrophic factor (BDNF), thereby enhancing the neural connections between the prefrontal cortex and basal ganglia, thereby improving inhibitory control, working memory, and cognitive flexibility; Secondly, at the behavioral level, open skill activities such as hiking and mountaineering require individuals to make dynamic decisions and adapt to the environment. This repeated practice process helps to strengthen the central executive function; Thirdly, at the level of natural environment, exposure to nature can reduce cortisol levels, regulate dopamine secretion, and provide low stimulus sensory input, effectively alleviating attention fatigue in children with ADHD. In addition, natural light exposure and green space exposure can indirectly optimize the neural basis of executive function by enhancing gut brain axis function and reducing inflammatory response. This study aims to provide interdisciplinary theoretical support for the design of exercise rehabilitation programs for children with ADHD, and emphasizes the need to develop personalized intervention strategies based on exercise types, environmental characteristics, and individual differences.

**Keywords:** outdoor sports; ADHD children; executive function

### 引言

注意缺陷多动障碍(Attention deficit hyperactivity disorder, ADHD),也称为多动症,是一种复杂的慢性神经发育障碍,也是目前儿科心理门诊最多见的行为疾病之一。相关研究表明,全球约 7.2%的儿童受其影响,我国 6~16 岁儿童患病率达 6.26%,其中 60%~80%的 ADHD 症状将会持续到青春期甚至是成年期<sup>[1]</sup>。患有 ADHD 的儿童比例年年攀升,虽然这部分儿童在智力上没有任何问题,但是 ADHD 导致的主要症状已经给儿童的身体、心理、学习生活带来了极大的影响,也是社会急需关注的重要公共卫生问题之一。目前对 ADHD 的治疗手段主要是有两种:一种是药物治疗,一种是非药物治疗。非药物治

疗包括运动干预<sup>[2]</sup>、物理治疗和康复训练、家庭干预和教育支持<sup>[3]</sup>等手段。其中药物治疗对 ADHD 儿童在冲动性和注意力不集中方面有着显著效果,但是长期服药的副作用和高昂的费用让一般家庭难以承受。非药物治疗中,运动干预手段是公认的最经济高效的治疗方法,也是近期研究的热点话题。

在相关的运动干预研究中,有学者提到若以提高执行功能为目标,可选择以开式动作技能为主的运动<sup>[4]</sup>。开式动作技能(Open Motor Skills),又称开放式运动技能,是指在动态变化、不可预测的环境中完成的运动技能,其核心特征是动作需根据外部环境的实时变化进行调整,而非预先完全确定。户外运动是指在自然环境或基于自然改造

的环境中以健身、休闲和探险等为目的利用自然力或人类自身力量所进行的身體活动<sup>[5]</sup>。户外运动并不指定某个特定项目，而是攀岩、露营、徒步、登山、滑雪、攀冰、皮划艇等项目的一个总称。并且户外运动与其他项目相比具有独特性，使参与者能长时间在开阔的环境中保持运动的热情。徐璐在关于 ADHD 儿童执行功能的研究中提出，要采用多途径游戏化的方式促进 ADHD 执行能力的发展，选用户外体育游戏提高儿童的抑制控制能力，选用益智游戏促进儿童工作记忆和认知灵活性的发展，选用角色扮演游戏促进儿童解决问题的能力<sup>[6]</sup>。户外运动所带来的价值效益对 ADHD 儿童有着潜在的治疗贡献，是一个急需挖掘的关键领域。

## 1 ADHD 儿童执行功能的缺陷特征以及发生机制

### 1.1 ADHD 儿童执行功能的缺陷特征

ADHD 症状主要表现为儿童注意力不集中、情绪控制异常、肥胖、抑郁且伴随着认知、控制抑制等方面的障碍，运动活动方面常表现出平衡功能失调<sup>[7]</sup>。研究表明，ADHD 的核心病理特征在于执行功能的受损。执行功能作为儿童认知功能的关键要素，是指在应对复杂认知挑战时，能够高效整合与调控多种基础认知过程的能力，从而实现高级别的认知任务执行，主要包括抑制控制、工作记忆、注意转换 3 个子功能<sup>[8]</sup>。抑制控制是指个体在处理外界信息时，能够抑制无关信息干扰并防止其影响执行功能的能力，抑制控制的缺陷通常会导致情绪自我调节能力减弱以及注意力难以集中的问题。工作记忆是对大脑储存的信息进行加工或运算的能力，工作记忆缺陷会导致时间知觉功能受损和难以模仿新动作，从而导致认知记忆加工受损，进而影响执行功能<sup>[9]</sup>。注意转换可以理解为在多项任务竞争同一个认知资源时，可以在多项任务中任意转换注意的过程，注意转换会持续影响学生的注意力。如不能高效解决问题、儿童学习成绩差都有可能是注意转换失调的原因。

### 1.2 ADHD 发生的机制

通过文献综述发现，多动症的发病机制主要是环境和遗传，以及大脑结构和功能的异常。遗传学证据表明，多动症的遗传概率高达 70%~80%，而且极有可能持续到成年。多动症儿童不能充分调节非多巴胺能信号，主要表现为三个层次的多巴胺能系统紊乱：一是间叶多巴胺分支活动不足，表现为多动症儿童注意力改变、多动和冲动行为。二是黑质纹状体多巴胺分支功能低下，导致运动控制能力下降。第三是中脑皮质分支功能低下。神经生物学研究表明，多动症症状与前额叶皮层和纹状体区域的儿茶酚胺功能障碍有关，多动症儿童也有儿茶酚胺缺乏症。多动症还与大脑结构的变化有关。研究表明，由于灰质减少，多动症患者的大脑总体积比普通人大小 3%~5%。神经影像学数据显示，多动症患者大脑白质的完整性明显受损。多动

症儿童的大脑皮质发育比正常儿童落后 2~3 年，尤其是在囊前束、右侧小脑、双侧内囊和左侧小脑。多动症还与大脑皮层成熟延迟有关。根据对大脑结构和功能的研究，多动症的认知障碍似乎与顶叶前部网络的结构和认知负荷时的失活有关。一般来说，体育锻炼可以作为一种神经兴奋剂，通过影响神经营养因子、单胺能神经传递和神经可塑性机制来改善个体的执行功能。事实上，运动可以增加神经营养因子，促进神经元的存活、生长和分化，提高多巴胺和去甲肾上腺素的水平，以及改善紧张性神经传递。

## 2 不同运动干预模式对 ADHD 儿童执行功能改善的作用

运动干预对改善 ADHD 儿童的不良症状有着积极的作用。各类文献表明，运动干预的手段和方式多种多样，不同的运动干预模式对 ADHD 干预的效果也有所不同。目前对 ADHD 的运动干预模式总结出来主要有虚拟现实游戏、有氧运动、中等强度急性运动、长期运动四种。

虚拟现实游戏是一种人机交互性的视频游戏，可以实现身体和认知训练的结合。基于家庭的运动游戏干预对抵消他们的认知和运动缺陷尤为重要。Benzing 等人<sup>[10]</sup>对 ADHD 儿童进行体感游戏的运动干预，研究结果显示，体感游戏能够有效提升注意力缺陷多动障碍（ADHD）儿童的认知灵活性与抑制控制能力，这表明体感游戏对 ADHD 儿童执行功能的改善具有潜在积极作用。李盼盼<sup>[11]</sup>等人的研究进一步表明，虚拟现实游戏在 ADHD 患儿的评估中发挥着重要作用，并且在智力障碍、脑瘫等特殊儿童的康复训练中也展现出显著效果。

Huang 等人<sup>[12]</sup>对 ADHD 儿童进行一次性 30min 跑步运动干预的研究表明，静息状态下的脑电图震荡趋于正常化。这一结果提示，短期运动干预可能有助于改善 ADHD 儿童的抑制控制能力。Ahmed 等人<sup>[13]</sup>对 ADHD 患儿进行 10 周有氧训练，结果发现，其学习成绩和班级表现等均有明显改善。Ludyga 等人<sup>[14]</sup>通过随机交叉试验设计，本研究让 ADHD 患儿与正常儿童分别进行 20min 的中等强度自行车运动和协调运动。结果表明，有氧运动能够显著改善 ADHD 儿童的执行功能。

施逸豪<sup>[15]</sup>对儿童进行了 40min 中等强度的急性运动实验，内容包括“篮球与跳绳”相结合。研究结果表明，儿童的执行功能，特别是注意转换能力显著改善。此外，在不同子成分上也体现出持续时间效益的差异。而另一项研究显示<sup>[16]</sup>，对正常儿童而言，一次中等强度有氧运动能够促进儿童的抑制控制和刷新功能，但对工作记忆没有显著影响。

在运动干预周期方面，维持 6~8 周的运动干预对 ADHD 儿童的抑制控制和转换能力的改善效果最佳；而超过 8 周后持续周期越长，改善效果越低<sup>[17]</sup>。该研究提出，对 6~13 岁的 ADHD 儿童进行为期 6~8 周的中等强度运动干预，每次持续 40~60min。结果显示，长期的中等强

度运动干预对 ADHD 儿童在抑制控制能力和转换能力方面的改善效果最佳<sup>[18]</sup>。干预效果随着 ADHD 儿童年龄的增长而逐渐降低。该研究在对 ADHD 儿童进行运动干预的过程中,加入了药物治疗的对比实验。结果显示,同时接受药物治疗和长期运动干预的 ADHD 儿童,与仅进行长期运动干预的 ADHD 儿童相比,在抑制控制能力和转换能力方面的改善效果并无显著性差异。这表明,延长运动干预时长可能为 ADHD 儿童非药物治疗提供重要参考。

综上所述,不同周期及不同强度的运动干预模式对 ADHD 儿童执行功能的改善有积极影响。从相关研究来看传统运动干预模式确实提高了 ADHD 儿童的抑制和转换反应时间,即体育锻炼最有力的影响似乎是抑制,但传统运动对 ADHD 儿童工作记忆以及问题解决能力的益处似乎并不明显。所以,越来越多的研究表明,要选用更加综合、更加开放的运动方式去干预 ADHD 症状。因此,本文旨在探讨选用对 ADHD 儿童症状干预功能更加综合全面的户外运动作为主要的运动干预手段,整合神经科学、心理学与运动干预领域的研究成果,解析户外运动改善 ADHD 儿童执行功能的多维路径,以期更好的帮助 ADHD 儿童调控自身状态、强化自控行为。

### 3 户外运动对 ADHD 儿童执行功能的作用

有证据表明<sup>[19]</sup>,在绿色开放的环境下可以有效缓解儿童的 ADHD 症状。户外运动作为一种潜在的治疗程序,强调的是在自然的环境下进行运动。每周或每天在自然环境中度过来治疗 ADHD 症状相对来说更加便宜、容易,对于大部分家庭来说也是更容易坚持的,对于 ADHD 儿童的执行能力的改善也有着重要作用。

#### 3.1 户外运动对 ADHD 儿童抑制控制的作用

户外运动对注意缺陷多动障碍即 ADHD 儿童的抑制控制有着影响,主要是经由神经生理调节与行为训练这两条路径达成的,像徒步旅行和攀岩这类户外运动,要求参与者遵守规则并快速对环境变化做出反应,在这个过程中可激活前额叶皮层,强化抑制控制所需要的神经回路。比如在团队运动中,儿童要等待指令并且控制冲动行为,经过反复练习可提高他们对干扰因素的抵抗能力。自然环境里丰富的感官刺激,像阳光和绿植等,可降低焦虑水平,还可以减少因情绪波动引发的冲动行为。另外中高强度的户外运动,像户外跑步和骑行,凭借促进血液循环,提高脑部氧气供应,提高前额叶皮层的活跃度,以此加强对行为的主动控制。长期坚持规律的户外运动还可培养时间管理与目标规划能力,间接强化抑制控制,家长要结合孩子兴趣选择合适的活动,每周进行 3~4 次,每次持续 30min 以上,把体育锻炼融入到日常生活中,来支持儿童抑制能力的发展。

#### 3.2 户外运动对 ADHD 儿童工作记忆的作用

工作记忆是人类认知活动的关键,并且是执行能力的

关键构成部分。工作记忆涉及对进入或者储存在大脑中的信息进行加工的过程,是影响注意缺陷多动障碍也就是 ADHD 儿童学业成绩的关键因素,每周进行三次、每次持续 30~60min 的中等强度开放式运动干预,可能因为它与 ADHD 儿童核心缺陷以及工作记忆需求之间的深度契合而呈现出有效性。开放式运动,比如定向运动、障碍跑以及需要即时反应和策略调整的团体活动,天然要求参与者持续监控动态环境、快速处理信息、抑制不恰当反应并灵活调整策略,这些正是工作记忆所包含的核心功能。在运动过程中,儿童要不断编码、刷新和操纵信息,这为工作记忆提供了高强度且情境化的“实战”训练。中等强度运动可有效促进大脑神经递质,如多巴胺和去甲肾上腺素的释放与平衡,并且可能刺激与学习和记忆相关的大脑区域,如前额叶皮层的神经可塑性,优化支撑工作记忆的神经基础,持续四周的周期为这种神经适应及行为模式巩固提供了必要的时间窗口,这种结构化且有认知挑战性的运动方案,凭借直接锻炼工作记忆这一“肌肉”,并优化其神经生理环境,成为改善 ADHD 儿童工作记忆功能提升其学业表现的一种有效方式。在实施过程中要关注个体差异,以保证运动强度和复杂度适宜。

#### 3.3 户外运动对 ADHD 儿童注意转换的作用

户外运动对于注意缺陷多动障碍即 ADHD 儿童的注意转换功能有着促进作用,该作用机制主要体现在神经生理调节和环境协同效应这两方面,注意转换作为执行功能的一个核心维度,是 ADHD 儿童普遍存在的薄弱环节,大多时候表现为难以在不同活动之间快速切换或者在复杂任务中灵活调整认知策略。中等强度的有氧运动像快走、骑行可提升多巴胺和去甲肾上腺素的分泌水平,这两种神经递质对前额叶皮层的功能调控有着关键作用。当儿童在户外进行开放式运动时,动态变化的自然环境要求他们不断调整行动策略,这种实时决策过程直接训练了注意转换相关的神经通路,强化了额叶-纹状体环路的协调性,和室内环境相比,户外绿色空间提供了低压力且高吸引力的感官输入。这种差异源于自然环境的“软魅力”特性,阳光、植被和开阔视野以温和方式吸引注意力,避免了过度刺激造成的注意力涣散,又依靠适度刺激促进了认知资源的主动分配与重置。开放式运动比如徒步、登山特别适合训练注意转换能力,这类活动要求儿童持续监控环境变化像线路轨迹、地形起伏,并即时调整动作计划。

#### 3.4 总结

户外运动并不是在活动时间内只做一种运动,户外运动有极强的灵活性,是可以在一次活动时间内或在周期性训练中进行多项运动的组合,比如跑步、徒步、攀岩、定向识图等都可能在一次活动时间内组合起来让 ADHD 儿童去体验。这种多样性不仅可以激发 ADHD 儿童的兴趣,提高他们的参与度,还能够全面锻炼他们的身体,促进大



脑不同区域的发育。此外，户外运动往往伴随着自然环境的变化，如天气的转换、地形的起伏等，这些不确定因素要求 ADHD 儿童在运动中不断调整自己的策略，灵活应对，从而增强了他们的适应能力和应变能力。在这种灵活性和应变能力的提升，对于改善 ADHD 儿童的执行功能，尤其是抑制控制、工作记忆和注意转换等方面，具有显著的促进作用。

#### 4 研究不足

目前关于户外运动对提高儿童执行能力的实证研究尚不充分，且现有的研究结果普遍集中于普通青少年儿童，对 ADHD 儿童的研究涉及较少。户外运动作为 ADHD 干预手段需纳入更系统的医学框架。未来研究应构建包含环境敏感性评估、运动剂量精准滴定、多场景适配方案的综合干预模型。唯有突破经验主义的认知局限，建立基于循证医学的个性化干预体系，方能真正实现运动疗法在 ADHD 治疗中的临床转化价值。

#### 【参考文献】

- [1]WANG T,LIU K,LI Z,et al.Prevalence of attention deficit/hyperactivity disorder among children and adolescents in China:A systematic review and meta-analysis[J].BMC Psychiatry,2017,17(1):32.
- [2]李荣荣.从医学概念到“疾病”事实儿童“注意缺陷多动障碍”的临诊民族志[J].社会,2024,44(1):1-31.
- [3]陆灵俊,钱烨.“家-校-医”联合背景下 ADHD 儿童行为干预的个案研究[J].现代特殊教育,2024(5):68-71.
- [4]宋以玲,李阳,刘靖,等.足球练习对注意缺陷多动障碍男童执行功能的影响[J].中国运动医学杂志,2022,41(3):165-172.
- [5]范源方.户外运动对青少年自我效能感影响的系统评价与 Meta 分析[D].上海:上海师范大学,2023.
- [6]陆露,范敏霞,郑晓露,等.注意缺陷多动障碍儿童冷、热执行功能及心理理论研究[J].中国特殊教育,2018(7).
- [7]董燕飞,耿治中,王梅.体育活动治疗注意缺陷多动障碍的研究进展[J].中国康复,2020(11):613-616.
- [8]许金富,王海霞,林瑜.运动干预对注意缺陷多动障碍儿童执行功能影响的 Meta 分析[J].曲阜师范大学学报(自然科学版),2025,51(1):104-112.
- [9]BUNFORD N,EVANS S W,LANGBERG J M.Emotion Dysregulation Is Associated With Social Impairment Among

Young Adolescents With ADHD[J].Journal of attention disorders,2018,22(1):66-82.

- [10]Benzing V,Chang Y K,Schmidt M. Acute physical activity enhances executive functions in children with ADHD[J].Sci Rep,2018,8(1):12382.
  - [11]李盼盼.体感互动技术应用于智力障碍儿童执行功能评估的初步研究[D].上海:华东师范大学,2018.
  - [12]HUANG C J, HUANG C W, HUNG C L,et al.Effects of acute exercise on resting EEG in children with attention-deficit/hyperactivity disorder [J].Child Psychiat Hum Dev,2018,49(6):993-1002.
  - [13]Ahmed G M,Mohamed S.Effect of regular aerobic exercises on behavioral, cognitive and psychological response in patients with attention deficit-hyperactivity disorder[J].Life Science Journal,2011,8(2):366-371.
  - [14]Ludyga S, Brand S, Gerger M,et al.An event-related potential investigation of the acute effects of aerobic and coordinative exercise on inhibitory control in children with ADHD[J].Dev Cogn Neurosci,2017(28):2821-2828.
  - [15]施逸豪.急性有氧运动对大学生电子游戏爱好者认知执行功能的影响[D].上海:上海体育学院,2021.
  - [16]李焕玉.中等强度急性运动干预对超重儿童执行功能的影响[A].第十一届全国体育科学大会论文摘要汇编[C].北京:中国体育科学学会,2019.
  - [17]杨波.ADHD 儿童执行功能的运动干预效果 Meta 分析[J].中国体育科技,2021,57(8):96-102.
  - [18]Lee S K,Song J,Park J.Effects of combination exercises on electroencephalography and frontal lobe executive function measures in children with ADHD:A pilot study[J].Biomed Res India,2017(28):455-460.
  - [19]Faber Taylor A, Kuo F E. Could exposure to everyday green spaces help treat ADHD? Evidence from children's play settings[J]. Applied Psychology:Health and Well-Being,2011,3(3):281-303.
- 作者简介:李雪(2000—),女,汉族,四川成都人,研究生在读,贵州医科大学运动与健康学院,研究方向:青少年户外教育;\*通讯作者:张博华(1991—),男,汉族,贵州贵阳人,博士,讲师,贵州医科大学运动与健康学院,研究方向:户外运动理论与实践。