

●运动人体科学●

身体活动对 ADHD 儿童青少年工作记忆的影响:系统综述

罗乔有¹,吴绍奎²,王超超³,田祖国¹

(1.湖南大学 体育学院,湖南 长沙 410082;2.贵州大学 体育学院,贵州 贵阳 550025;3.山西大学 体育学院,山西 太原 030006)

摘要: **目的** 系统综述身体活动对注意力缺陷多动障碍儿童青少年工作记忆的影响,对影响干预效果的因素进行梳理,并讨论影响机制。**方法** 采用主题词检索法,共检索 Web of Science、PubMed、Embase、EBSCO、The Cochrane Library、ProQuest、CNKI 等 7 个数据库,检索时间范围为建库至 2024 年 1 月,从文献中提取作者和国家等 10 项内容,并采用物理治疗证据数据库(PEDro)量表对文献进行质量评价,然后进行系统综述。**结果** 最终纳入 15 篇文献,来自 6 个国家,13 项是随机对照试验,2 项是随机临床试验,共涉及 813 例研究对象,主要以男性为主。所有纳入研究的质量平均分为 7.26 分,整体研究质量较好。**结论** 纳入文献中共有 11 篇(73.3%)显示身体活动可以改善 ADHD 儿童青少年的工作记忆,且持续 4 周及以上,30~60 min/次、3 次/周的开放式运动技能和有氧运动等中等强度训练,效果可能更佳。

关键词: 身体活动;注意力缺陷多动障碍;儿童青少年;认知功能;执行功能;工作记忆;系统综述

中图分类号: G804.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-983X(2025)01-0064-10

DOI: 10.20185/j.cnki.1003-983X.2025.01.011

Effects of Physical Activity on Working Memory in Children and Adolescents with ADHD: A Systematic Review

LUO Qiaoyou¹, WU Shaokui², WANG Chaochao³, TIAN Zuguo¹

(1.Hunan University, College of Physical Education, Changsha Hunan, 410082; 2.Guizhou University, College of Physical Education, Guiyang Guizhou, 550025; 3.Shanxi University, College of Physical Education, Taiyuan Shanxi, 030006)

Abstract: **Objective** To provide a systematic review of the effects of physical activity on working memory in children and adolescents with ADHD, to sort out the factors that influence the effectiveness of the intervention, and to discuss the mechanisms of influence. **Methods** A total of seven databases, including Web of Science, PubMed, Embase, EBSCO, The Cochrane Library, ProQuest, and CNKI, were searched using a subject-word search method with a timeframe of the construction of the library to January 2024, and 10 items, such as authors and countries, were extracted from the literature, and the Physical Therapy Evidence Database (PEDro) scale to evaluate the quality of the literature, followed by a systematic review. **Results** Fifteen papers were finally included, from six countries, 13 were randomised controlled trials and two were randomised clinical trials, involving a total of 813 study participants, mainly men. The mean quality score of all included studies was 7.26, giving a good overall study quality. **Conclusion** A total of 11 (73.3%) of the included literature showed that physical activity improves working memory in children and adolescents with ADHD and that moderate-intensity training such as open motor skills and aerobic exercise lasting 4 weeks and more, 30-60 min/session, 3 times/week, may be more effective.

Keywords: physical activity; ADHD; children and adolescents; cognitive function; executive function; working memory; systematic review

收稿日期:2024-08-12

基金项目:湖南省学位与研究生教育教改思政重点项目(2023JGSZ029)。

第一作者简介:罗乔有(2000~),男,贵州水城人,在读硕士,助教,研究方向:体育教育训练学。

通讯作者简介:田祖国(1974~),男,湖南慈利人,博士,教授,研究方向:民族传统体育、体育教学,E-mail:thomeland@hnu.edu.cn。

注意力缺陷多动障碍(ADHD)是儿童时期最常见的神经发育性精神障碍,全球患病率为 5.29%~7.2%,且发病率仍在上升^[1]。其中,注意缺陷、活动过度 and 好冲动是其主要症状,并有可能导致其他精神健康障碍和学习成绩差、人际关系紧张以及违法犯罪等不良后果^[2-4]。然而,就性别来说,男孩的患病率通常是女孩的近 3 倍(9.2%/3.0%)^[5]。此外,执行功能(EF)受损是 ADHD 儿童青少年的另一个显著特征^[6]。EF 是指协助计划、组织、解决问题和管理的高级认知技能,包含抑制控制、

工作记忆(WM)和认知灵活性^[7-8],其中的 WM 是对存储信息进行刷新或运算的能力,其本质在于对存储的信息进行记忆加工和处理的过程^[9]。有研究表明,ADHD 儿童青少年的 WM 损害^[10],不仅可能导致其注意力不集中和多动行为,而且还会导致回溯性知觉、时间意识和掌握、远见和模仿新行为的能力等出现问题^[11-12],所以一旦 WM 受损就会影响其学习行为与生活质量^[13-14]。

面对这一重要的公共卫生问题,药物治疗、行为及心理治疗是目前治疗 ADHD 的主要手段^[3, 15-17]。但药物治疗存在如头痛、胃痛、食欲不振等副作用^[18-20],行为及心理治疗方案也有其缺陷,主要表现在治疗成本高和见效慢等^[21-22]。因为这 2 种方式都有其弊端,所以人们似乎越来越关注其他非药物干预方面,如身体活动(PA)。相比于药物治疗、行为与心理治疗而言,在科学化与专业化的指导下,PA 并不会令人不适的和危害身心健康的副作用,相反能提高人的免疫力,有利于身心健康,且经济成本更低,更符合普通家庭,最重要的是短期内就会见效。故而越来越多的研究表明 PA 对 ADHD 儿童青少年的相关症状有积极的效果^[23-28],包括对注意力、记忆与 EF 中的 WM 等^[29],因为它们的相互依赖性在 ADHD 儿童的认知中发挥着至关重要的作用。

然而,在同领域的综述研究中,主要关注 PA 对 ADHD 儿童青少年相关症状的影响,包括对核心症状(注意力与冲动多动)^[19, 24, 30-32]、对 EF^[23, 27, 29, 33-34]是其下级指标抑制控制^[25]的影响,或是对运动技能^[28]的影响等。故而现有研究中还缺乏 PA 对 ADHD 儿童青少年 WM 影响的专门的综述研究。鉴于此,本系统综述旨在通过科学文献分析 PA 对 ADHD 儿童青少年的 WM 的影响,以期对相关人群制定 PA 方案时起到良好的指导意义。

1 资料与方法

1.1 检索策略

本系统综述的方案已在国际前瞻性系统评价注册(PROSPERO)中进行了注册(CRD42023475907),且按照 PRISMA^[35]进行。采用主题词检索法,共检索 Web of Science、PubMed、Embase、EBSCO、The Cochrane Library、ProQuest、CNKI 等 7 个数据库,检索时限为各数据库建库至 2024 年 1 月,

并通过“文章语言”过滤器排除了非中英文发表的文献,搜索仅限于中文和英文。

中文检索式:(锻炼 OR 体育 OR 身体活动 OR 健身 OR 运动) AND (注意缺陷 OR 多动 OR 注意缺陷多动障碍 OR ADHD) AND (执行功能 OR 工作记忆 OR 刷新功能)。

英文检索式:(Exercise OR Physical Activity OR Sports) AND (Attention Deficit OR Hyperactivity OR Attention Deficit Hyperactivity Disorder OR ADHD) AND (Executive Function OR EF OR Working Memory OR WM OR Refresh Function)。

此外,我们还采用 PICOS (Population, Intervention, Comparator, Outcome, Study Design)格式确定文献的纳入标准,纳入研究的 PICOS 见表 1。

1.2 纳入和排除标准

纳入标准:1)研究设计为任何试验研究设计;2)样本中至少有实验组(EG)被诊断为任何亚型的 ADHD 患者,不受智商的限制,且年龄<18 岁(儿童或青少年);3)以 PA 进行干预或包含 PA 的联合干预;4)与对照组(CG)进行对照;5)测量结果中至少要包括使用量表或仪器对 ADHD 儿童青少年的 WM 进行测量。

排除标准:1)干预措施中没有涉及 PA;2)除中文和英文之外的语言;3)非介入性研究,如理论研究、指南、方法学方案、学位论文、书籍章节、治疗方法说明、无结果临床试验(方案)、会议摘要、信函和编辑意见等。

1.3 研究选择和数据提取

起初由 1 位研究人员在 7 个数据库中分别进行检索,将检索到的文献全部导入 EndnoteX9 软件中识别和去重,然后由 1 位研究人员独立阅读文献标题、摘要和全文,进行文献筛选。在每个选择步骤之后,2 位研究人员比较了他们的发现,当出现分歧或意见不一致时,经与第 3 位研究者协商一致后确定最终纳入文献的数量。

在文献筛选的基础上,2 位研究人员继续提取和编码文献信息,并提取研究特征(第一作者姓名、出版年份、国家和研究设计)、参与者特征(样本量、年龄和性别)、干预特征(类型、强度、频率、持续时间、周期、测量工具)和结局指标等数据并显示在数据提取表中。

表 1 纳入研究的 PICOS

种类Category	纳入标准Inclusion criteria	排除标准Exclusion criteria
人口 Population	患有ADHD的儿童青少年	ADHD 成年患者,没有患ADHD的正常儿童青少年和患有其他病症的人群等
干预措施 Interventions	任何类型的身体活动 干预措施必须包含身体活动,可以是其他训练与身体活动相结合的联合干预	没有涉及任何类型身体活动的干预
比较Comparators	有不同干预方案设计:有身体活动类型、强度、持续时间、频率和周期等 有人口统计学因素:样本量、年龄、性别等	没有干预方案设计 没有人口学因素
结果 Outcome	结局指标中至少有一项对工作记忆进行测量的研究	结局指标中没有对工作记忆进行测量
研究设计 Study design	任何试验研究设计	没有结果衡量的研究(如理论研究、治疗方法说明或方法学方案)

1.4 质量评价与数据分析

由 1 位评估者使用物理治疗证据数据库 (Physiotherapy Evidence Database, PEDro) 量表对所纳入的每篇文献进行独立的方法学质量评价^[36],如有疑问将与第 2 位评估者讨论并决定。PEDro 量表是评估试验质量(内部效度)以及试验是否提供允许合理解释的统计信息的检查表。量表的评价内容包括“符合标准”“随机分配”“分配隐藏”“基线相似”“被试施盲”“治疗师施盲”“评估者施盲”“充分跟进”“意向性分析”“组间统计比较”“点估计和变异性测量”等 11 个项目。从第 2 项至第 11 项为计分项目,符合标准记 1 分,不符合或者不清楚记 0 分。量表总分为 10 分,<4 分为质量差,4—5 分为质量中等,6—8 分为质量较好,9—10 分为质量高^[36]。此外,由于纳入研究的测量和结果存在异质性,因此未进行 Meta 分析。而是对数据进行定性内容分析,使其更容易解释研究结果。

2 结果

2.1 文献检索结果

共检索到了 5 345 篇论文,将其导入 EndnoteX9 中去重后得到 3 873 篇文献,对其标题和摘要进行了阅读与筛选,然后排除了 3 621 篇与研究主题不相符合的文章,并进一步对 252 篇文献进行全文阅读与分析,其中 15 项研究符合入选标准。文献筛选流程见图 1。

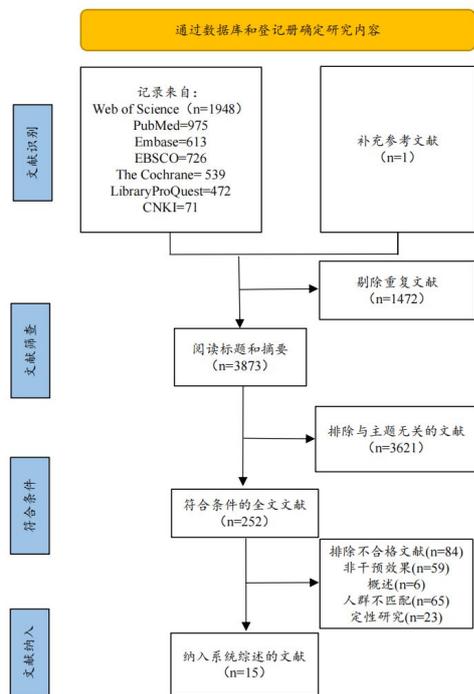


图 1 文献筛选流程图

2.2 纳入文献的基本特征

纳入的 15 项研究^[37-51]是在 6 个国家进行的,其中德国 (n=1),加拿大 (n=1),美国 (n=2),伊朗 (n=2),瑞士 (n=4),中国 (n=5),文献发表时间集中在 2015—2022 年,包括 13 项 RCT 和 2 项随机临床试验,共涉及 813 例研究对象,年龄在 5~14 岁之间,以男性为主,均是患有任何亚型 ADHD 的儿童青少

年。纳入文献的基本特征见表 2。

2.3 纳入文献的质量评价

纳入分析的 15 项研究的 PEDro 量表评分为 6—9 分,其中,6—8 分 12 篇,9—10 分 3 篇,平均 7.26 分,整体研究质量较好。所有研究均采用分配隐藏对参与者进行了随机分配,并且纳入文献的所有研究均在基线相似的前提下对结果进行组间比较统计、意向性治疗分析以及点测量和变异性测量。此外,有 6 项研究^[39-40,42-43,45,49]进行了被试施盲和评估者施盲,3 项研究^[39,42-43]进行了治疗师施盲,4 项研究^[37,39,46-47]进行了充分跟进。纳入文献的 PEDro 量表评分细则见表 3。

2.4 纳入文献的干预方案

所有文献均对参与者进行了不同类型的 PA 干预。在 EG 中,PA 类型主要包括处理球、平衡和手灵巧的 PA^[37],合作和竞争性体育活动游戏和 AE^[38],基于电脑的高认知成分和高强度的运动游戏^[39-40,42],自行车训练^[45],定向运动^[41,44],认知改善和康复运动或跑步 (EXCIR)^[48],柔道训练^[49]和足球运动^[51]等。部分研究将计算机认知补救训练、体育锻炼和行为管理策略 (IBBS)相结合^[43],平衡运动与注意康复 (BARAN)相结合^[46],AE 和神经认知锻炼相结合^[48],在看动画片的同时进行骑车运动训练相结合^[50]等实行多模式的联合干预。在 CG 中,主要采取不干预^[37,42,48-49],进行艺术项目和周边的久坐替代活动(如乐高积木、纸牌、拼图、棋盘游戏)^[38],常规体育训练^[39,41,44,51],久坐^[40],治疗^[43],阅读^[45],AE 和跑步^[46-47],静坐观看动画片^[50]等措施。

在纳入研究的文献中,PA 的干预周期主要集中在 1~15 周之间。其中,3 项研究^[45-47]的干预周期为 4~5 周,2 项研究^[39,42]的干预周期为 8 周,2 项研究^[38,44]的干预周期为 10 周,4 项研究^[37,48-50]的干预周期为 12 周。另外,有 4 项研究^[40-41,43,51]的干预周期分别为 1 周,14 周,15 周和 6 周。

在纳入研究的文献中,共有 13 项研究给出了单次 PA 干预的时间在 10~120 min 之间,仅有 2 项研究^[38,50]没有报告单次干预时间。其中,2 项研究^[40,45]参与者的单次干预时间低于 20 min,4 项研究^[39,41-42,44]的单次干预时间在 30~35 min 之间,2 项研究^[46-47]的单次干预时间为 45~50 min,3 项研究^[48-49,51]的单次干预时间为 60 min,2 项研究^[37,43]的单次干预时间在 90 min 及以上。

在纳入研究的文献中,共有 13 项研究报告了 PA 的干预频率,且主要集中在每周 1~5 次之间。其中有 8 项研究^[39,41-43,46-48,50]的干预频率为每周 3 次,有 2 项研究^[38,51]的干预频率为每周 5 次,有 3 项研究^[40,45,49]的干预频率分别是 1 次/周、4 次/周和 2 次/周。另外,有 2 项研究^[37,44]没有报告干预频率。

在纳入研究的文献中,共有 8 项研究^[38,40-41,44-46,48,50]报告了相应的 PA 干预强度且均是中等强度。其中,2 项研究^[48,50]采用 MHR×(60%~80%)的干预强度,有 3 项研究^[41,44,46]受试者的 AHR=120~140 次/min,1 项研究^[38]的 AHR=141 次/min,有 2 项研究^[40,45]的心率分别是 MHR×55%~90%与 117.5 次/min。另外,有 7 项研究^[37,39,42-43,47,49,51]并没有报告 PA 的干预强度及其进展模式。

在纳入研究的文献中,只有 4 项研究^[37,39,46-47]报告了随访期。1 项研究^[37]在 12 周的 PA 干预后的第 1 周进行随访测试,

表 2 纳入文献的基本特征

作者与年份	国家	研究对象	研究设计	干预环境	干预方式	干预强度	干预时间	测量工具	干预结果
Susanne Ziereis 等 ^[37] (2015)	德国	n=43 7~12岁 男生(74.4%) EG1(13) EG2(14) CG(16)	RCT	校园	EG1:处理球、平衡和手灵巧的PA EG2:常规的PA CG:不干预	N/A	每次90 min 12周	The digit span (forwards/backwards) the letter-number-sequencing task of the HAWIK - IV the Corsi block tapping test	EG1(+) EG2(+)
Eduardo E. Bustamante 等 ^[38] (2016)	美国	n=35 6~12岁 EG(19) CG(16)	RCT	校园	EG:合作和竞争性体育活动和游戏和AE CG:艺术项目和周边的久坐替代活动(如乐高积木、纸牌、拼图、棋盘游戏)	AHR=141次/min MHR × (75%~103%)	每周5次 10周	the Automated Working Memory Assessment System - Short Version (AWMA-S) (1)	EG(+)
Valentin Benzing 等 ^[39] (2017)	瑞士	n=66 8~12岁 EG(N/A) CG(N/A)	随机临床试验	家中	EG:高认知成分和高强度的运动游戏 CG:常规体育训练	N/A	每次30 min 每周3次 8周	the colour span backwards	EG(/)
Valentin Benzing 等 ^[40] (2018)	瑞士	n=46 8~12岁 男生(82.6%) EG(N/A) CG(N/A)	RCT	家中	EG:高认知成分和高强度的运动游戏 CG:久坐	中等强度 MHR × (55%~90%)	15 min 每周1次 1周	a modified version of the Color Span Backwards Task	EG(/)
刘阳等 ^[41] (2018)	中国	n=64 男生(50.0%) EG(32) CG(32)	RCT	校园	EG:定向运动 CG:常规体育课教学	中等强度 MHR × (60%~70%) AHR=120~140次/min	每次35 min 每周3次 14周	the Corsi block tapping test	EG(+)
Valentin Benzing 等 ^[42] (2019)	瑞士	n=51 8~12岁 男生(82.4%) EG(N/A) CG(N/A)	随机临床试验	家中	EG:高认知成分和高强度的运动游戏 CG:不干预	N/A	每次30 min 每周3次 8周	a modified version of the color span backward task	EG(/)
Stephanie D. Smith 等 ^[43] (2020)	美国	n=92 5~9岁 男生(70.0%) EG(N/A) CG(N/A)	RCT	校园	EG:IBBS CG:常规治疗	N/A	每次90~120 min 每周3次 15周	the colour span backwards the Wisconsin Card Sorting Task	EG(+)
宋杨等 ^[44] (2020)	中国	n=84 平均9.7岁 男生(52.4%) EG(42) CG(42)	RCT	校园	EG:定向教学 CG:常规体育课教学	中等强度 MHR × (60%~69%) AHR=120~140次/min	每次30~35 min 10周	One-Back task	EG(+)
Hannah Bigelow 等 ^[45] (2021)	加拿大	n=16 10~14岁 男生(69%) EG1(N/A) EG2(N/A) CG(N/A)	RCT	实验室	EG1:正念冥想 EG2:自行车运动 CG:阅读	中等强度 AHR=117.5次/min	每次10 min 每周4次 4周	The Leiter-3 Reverse Memory Subscale	EG1(+) EG2(/)
Vahid Nejati 等 ^[46] (2021)	伊朗	n=29 7~12岁 男生(55%) EG(15) CG(14)	RCT	校园	EG:BARAN CG:AE和跑步	中等强度 AHR=120~140次/min	每次40~50 min 每周3次 4~5周	One-Back task	EG(+)

(续表)表 2 纳入文献的基本特征

作者与年份	国家	研究对象	研究设计	干预环境	干预方式	干预强度	干预时间	测量工具	干预结果
Vahid Nejadi等 ^[47] (2021)	伊朗	n=30 平均年龄=9.43±1.43岁 男生(86.7%) EG(N/A) CG(N/A)	RCT	校园	EG;EXCIR CG;无认知负荷的跑步	N/A	每次40~50 min 每周3次 4~5周	One-Back task	EG(+)
Liang Xiao等 ^[48] (2022)	中国	n=120 6~12岁 EG(80) CG(40)	RCT	N/A	EG;AE和神经认知锻炼 CG;不干预	中等强度 MHR×(60%~80%)	每次60 min 每周3次 12周	计算机神经认知任务	EG(+)
Sebastian Ludyga等 ^[49] (2022)	瑞士	n=57 8~12岁 EG(29) CG(28)	RCT	实验室	EG;柔道训练 CG;不干预	N/A	每次60 min 每周2次 12周	An existing script of a Change Detection paradigm was modified and administered with E-Prime 3.0 (PST, USA)	EG(+)
陈小明等 ^[50] (2022)	中国	n=64 6~10岁 男生(82.8%) EG(32) CG(32)	RCT	N/A	EG;在看动画片的同时进行动感单车运动训练 CG;静坐观看动画片	中等强度 MHR×(60%~80%)	每周3次 12周	One-Back task Two-Back task	EG(+)
宋以玲等 ^[51] (2022)	中国	n=16 6~8岁 男(100%) EG(8) CG(8)	RCT	校园	EG;日常体育活动+足球运动 CG;日常体育活动	N/A	每次60 min 每周5次 6周	Rey-Osterrich 复杂图形测验(CFT)	EG(+)

注:EG, 实验组;CG, 对照组;RCT, 随机对照试验;PA, 身体活动;AE, 有氧运动;EXCIR, 认知改善和康复运动或跑步;IBBS, 计算机认知补救训练、体育锻炼和行为管理策略相结合;BARAN, 平衡运动与注意康复;MHR, 最大心率;AHR, 平均心率;+, 有影响;/, 无影响;N/A, 不详。

表 3 纳入文献的 PEDro 量表评分细则

纳入的研究	资格标准	随机分配	分配隐藏	基线相似	被试施盲	治疗师评估者施盲	充分跟进	意向性治疗分析	组间统计比较	报告点测量和变异量值	总分
Susanne Ziereis等 ^[37] (2015)	√	√	√	√			√	√	√	√	7
Eduardo E. Bustamante等 ^[38] (2016)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	6
Valentin Benzing等 ^[39] (2017)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	10
Valentin Benzing等 ^[40] (2018)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	8
刘阳等 ^[41] (2018)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	6
Valentin Benzing等 ^[42] (2019)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	9
Stephanie D. Smith等 ^[43] (2020)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	9
宋杨等 ^[44] (2020)	√	√	√	√	√		√	√	√	√	6
Hannah Bigelow等 ^[45] (2021)	√	√	√	√			√	√	√	√	8
Vahid Nejadi等 ^[46] (2021)	√	√	√	√			√	√	√	√	7
Vahid Nejadi等 ^[47] (2021)	√	√	√	√			√	√	√	√	7
Liang Xiao等 ^[48] (2022)	√	√	√	√	√		√	√	√	√	6
Sebastian Ludyga等 ^[49] (2022)	√	√	√	√			√	√	√	√	8
陈小明等 ^[50] (2022)	√	√	√	√			√	√	√	√	6
宋以玲等 ^[51] (2022)	√	√	√	√			√	√	√	√	6

注:从第 2 项至第 11 项为计分项目,符合标准记 1 分,不符合或者不清楚记 0 分。

2 项研究^[46-47]在持续 4~5 周干预后的第 5 周进行随访测试,1 项研究^[39]在持续 8 周干预后的第一周进行随访测试,其余的 11 项研究^[38,40-45,48-51]均没有报告随访期。

2.5 PA 对 ADHD 儿童青少年 WM 的影响

在纳入研究的 15 篇文献中,共有 11 项研究^[37-38,41,43-44,46-51]显示对结局指标具有正向影响。其中,3 项研究^[37,48-49]是通过处理球、平衡和手灵巧的 PA,AE 与神经认知锻炼,柔道训练等与 CG 进行对比进行的。3 项研究^[41,43-44]分别通过定向运动、IBBS 与常规 PA、治疗分别进行对照试验。3 项研究^[46-47,50]主要通过不同 PA 类型如 BARAN,EXCIR 与观看动画片时进行骑自行车训练等和 AE、跑步、静坐看动画片等分别进行对照试验。有 2 项研究^[38,51]通过竞争性体育活动游戏与 AE,足球训练与体育游戏、AE 与艺术项目、久坐替代活动(如乐高积木、纸牌、拼图、棋盘游戏)和常规 PA 对比试验。另外,有 4 项研究^[39-40,42,45]的结果显示没有显著的改善效果。

3 讨论

研究发现 4 项研究没有积极影响,其中 3 项研究^[39-40,42]是通过高认知成分和高强度的运动游戏与常规 PA、久坐、不干预等分别进行对照试验;1 项研究^[45]有正念冥想与自行车运动 2 个 EG,通过与阅读进行对照试验。然而,PA 干预主要是通过增强大脑神经递质系统、上调脑源性神经营养因子(BDNF)和神经发生,以及促进儿茶酚胺神经递质的释放和提高大脑的唤醒水平来实现对 ADHD 儿童青少年 WM 的影响的。研究还发现,持续 4 周及以上,每周 3 次,且每次 30~60 min 的中等强度训练(主要是开放式运动技能和 AE),效果可能更佳。此外,性别因素、药物治疗和其他因素都可能对效果产生影响。如图 2 所示。

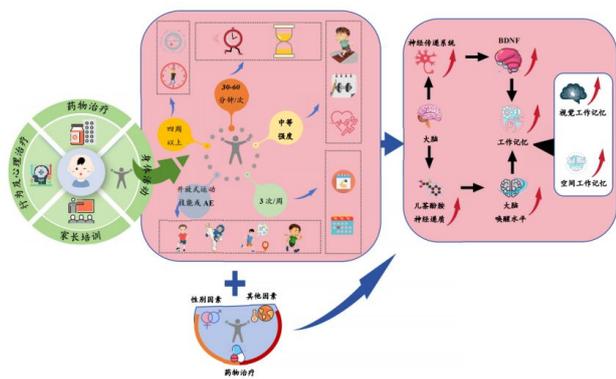


图 2 PA 对 ADHD 儿童青少年 WM 影响的机制

3.1 不同方案对干预效果的影响

第一,PA 类型与干预效果。值得注意的是,纳入研究的文献中,EG 的 PA 干预方式不尽相同。其中,3 项研究^[39-40,42]使用急性 PA 作为干预方式,结果均显示没有显著影响。另外,有 5 项研究^[41,44,47,49,51]通过定向运动、EXCIR、柔道训练与足球运动进行干预,测量后发现均有改善效果,这与一项 Meta 分析的结果一致。开放式运动技能(如球类、定向运动、柔道训练)辅助疗法能有效改善 ADHD 儿童青少年的 WM,而封闭式运动技能(自行车、游泳)则无显著作用^[27],这是因为开放式运动技

能需要在不断变化着的外界环境中进行,ADHD 儿童青少年会面临许多不可预测的环境,就会迫使其动用认知功能。如定向运动练习过程中,练习者通过识别地图上的有效信息,做出跑动路线的决策,但不能一直对地图进行注视,需要对信息进行空间想象,空间位置记忆,反复提取、储存记忆等练习很好地锻炼了被试者的视觉空间工作记忆能力^[41,44]。此外,最近的综述也得出结论,开放式运动技能对改善认知功能最有益^[52]。有趣的是,这些 PA 类型也可以归类为 AE 范畴,这或许也表明 AE 是促进 ADHD 儿童青少年 WM 改善的重要 PA 类型^[38]。这与之前的一项研究结果一致,研究用加速度计评估了患有 ADHD 的男孩的常规有氧活动量,结果显示与健康的儿童青少年相比,ADHD 儿童青少年在 WM 方面的表现明显更好^[53]。类似的是,另一些研究结果也表明,在慢性 AE 后,青年学生的 WM 和大脑激活水平显著提高^[33,52]。

第二,不同的 PA 强度与干预效果。在研究中报告了干预强度的文献均以中等强度为主。其中,有 2 项研究^[40,45]显示对结局指标没有显著的积极影响。1 项研究^[40]是通过高认知成分的运动游戏与久坐进行随机对照 AHR=MHR×(55%~90%),另 1 项研究^[45]虽然目标强度为中等强度,但在实施过程中,其 PA 强度并没有达到中等强度水平,即实施过程中的 AHR=117.5 次/min,这或许是造成干预对 WM 没有显著效果的重要原因。此外,其他研究虽然有在实验中通过一些方式记录 PA 强度,但并没有在文中有所体现,所以仍然有 7 项研究^[37,39,42-43,47,49,51]并没有明确报告 PA 强度。但单从纳入研究的文献来看,中等强度似乎对 ADHD 儿童青少年 WM 具有显著的改善效果。之前研究的亚组分析也表明,中等强度的 PA 干预可能会对 WM 有更好的效果^[24,26],这符合世界卫生组织中等强度的建议。也有研究认为,高强度的训练要刺激 WM 功能的发展才能有效地改善 ADHD 儿童的 WM 缺陷^[54]。总的来说,中等强度及以上是公认的重要计量,高强度 PA 干预的效果还需要更多文献与数据来进行探讨。

第三,单次 PA 时间与干预效果。研究结果显示,共有 9 项研究^[39,41-42,44,46-49,51]的单次 PA 时间在 30~60 min 之内,且有 7 项研究表明对 ADHD 儿童青少年的 WM 具有积极影响。而有 2 项研究^[37,43]的单次干预时间为 90~120 min,研究显示均有改善效果。其中 1 项研究^[37]2 个 EG,各组训练中间会安排有休息与恢复时间,类似于成年人的间歇训练。而另 1 项研究^[43]在 EG 中设计了 IBBS 的联合干预模式,所以这两项研究的单次 PA 时间虽长,但并不是都用于 PA 训练。如此一来,这 11 项研究适用于 PA 的单次干预时间几乎都集中在 30~60 min 之间。这与世界卫生组织建议的每次 30~60 min 的 AE 相一致,也证实了之前的研究结果,即较长的运动时间与患有 ADHD 的儿童青少年的更好的 EF 无关,这可能是由于这些儿童难以长期集中注意力与多动等核心症状相关^[29]。然而,另外有 2 项研究^[40,45]的单次 PA 时间分别是 15 min 和 10 min,研究显示对结果指标并无效果,对准确性测量和视觉工作记忆缺失影响的解释可能是 PA 的单次时间太短^[40]。由此可知,单次 PA 时间低于 30 min 或许并不会产生良性影响。

第四,PA 频率与干预效果。纳入研究的文献显示,有 6 项研究显示每周 3 次的 PA 频率均有显著效果,这符合世界卫生组织每周运动 3 次的建议;而有 2 项研究^[39,42]显示对结局指标

无影响,上面也提到,这或许是因为实行急性PA的运动游戏干预的原因。另外,有2项研究^[38,51]使用每周5次的PA频率,1项研究^[49]使用每周2次的PA频率,结果显示均有显著效果。值得关注的是,有2项研究^[40,45]分别采用每周1次与每周4次的PA频率,但并没有显著的改善效果,这或许是因为PA频率低和单次PA时间短等其他原因造成的。总的来说,在其他条件等都较为科学的情况下,每周2~5次的PA频率均对结局指标产生良好的效果,也有研究^[55]表明每周2~3次的PA频率能改善ADHD儿童青少年的相关症状,且每周3次的PA频率是使用最广泛的、认可度最高的剂量。

第五,不同的PA周期与干预效果。在纳入研究的文献中,有4项研究^[45-47,51]的PA周期在4—6周之间,其中有3项研究^[46-47,51]显示具有显著的改善效果,但有1项研究^[45]没有显著的效果,前面也提到,这可能是由于PA频率与单次PA时间偏低而导致的。另外,有4项研究^[38-39,42,44]的PA周期在8—10周之内,其中有2项研究^[39,42]显示对结局指标没有显著的积极作用。此外,6项研究^[37,41,43,48-50]的PA周期在12—15周之间且均显示有显著的改善效果。然而,有1项研究^[40]的PA周期为1周且每周只干预1次,结果显示对WM没有效果,这可能是由于PA周期与频率太低而造成的。这与之前的一项研究^[27]一致,与抑制控制和认知灵活性相比,ADHD儿童青少年WM的改善可能需要更频繁和更长期的运动干预,而短期干预不会有显著效果,这可能是由于WM作为一种重要的中枢EF,涉及更多的脑区,如前额叶背外侧、额下回、小脑^[56],更频繁、更长期的运动干预可以有效增加脑区之间的功能网络连接,促进儿童WM的改善。通过研究可知,4周及以上的PA周期很有可能是改善ADHD儿童青少年WM的最小临界值,但相关结果还需进一步进行探讨。

3.2 其他影响干预效果的因素

第一,性别因素。在纳入文献中,研究结果显示足球训练能改善WM的即时记忆,但对延时记忆的改善并不显著。值得注意的是,该研究的被试者均选择了ADHD男性儿童青少年,研究也表明没有女性参与可能会影响对干预效果的解释^[51]。这与其他研究类似,研究纳入了82.6%的ADHD男孩,结果显示对WM并无显著影响,这与基于人群的研究相比,这一比例略高^[40]。另外,纳入研究的文献纳入了大多数男生(86.7%),虽然结果显示有显著影响,但不可否认男女参试比例的失调也有可能影响对研究结果的解释^[47]。因此,纳入研究的性别失衡与性别分布在各组之间不平等,这可能会影响结果^[49],因为性别被认为可以缓和运动引起的认知表现影响^[57]。

第二,药物治疗。纳入研究的文献表明,虽然结果显示柔道训练具有显著的改善效果,但在干预期间继续进行药物治疗进一步限制了柔道训练作为额外治疗成分的有效性的结论^[49]。这与其他研究类似,尽管参与者被要求在测试前24h不使用药物,但与未使用药物的人相比,服用药物的人的表现可能有所不同^[45]。一项研究也说明,PA对WM有积极影响,但重要的是,在研究期间没有孩子改变他们的药物状态,无法分离药物与PA的作用^[38]。此外,在进行PA干预的同时大多数参与者目前正在接受药物治疗^[40],甚至是干预期间,研究者要求家长告知ADHD儿童青少年药物的每一次变化^[42],这或许说明,药物治疗是影响PA干预效果的一大因素。此外,如其他因素(成

熟度、霍桑效应、回归均值等)也可能对效果产生影响。

3.3 PA对ADHD儿童青少年WM影响的机制

ADHD儿童青少年的特定神经回路会出现功能障碍,如额顶叶、背侧和腹侧注意网络^[58],以及过度觉醒等^[59]。此外,还有研究表明,ADHD可能与儿茶酚胺神经递质失衡有关^[60]。AE可以减少与任务相关的低觉醒状态,这可能是ADHD个体的精神病理机制^[61]。而PA可能作为一种内源性刺激,可以激活与EF相关的脑区,从而引发一系列神经可塑性分子过程,最终导致大脑网络活动的结构适应和变化,进而增强神经递质系统,上调脑源性神经营养因子(BDNF)和神经发生^[62],增加脑网络之间的功能连通性^[63-64],对ADHD儿童青少年整体的EF与3个子系统的改善具有积极作用。这是因为当PA强度达到中等或较高时,机体激活神经生理反应,诱导神经递质合成,进而分泌BDNF,增加流向大脑的血流量,从而提高神经可塑性,增强信息处理能力^[50]。此外,还有研究发现,PA可增加多巴胺、去甲肾上腺素等儿茶酚胺类神经递质的释放^[65],从而提高大脑的觉醒水平^[66-67],从而促进ADHD儿童青少年EF的发展。

3.4 研究的优势、局限性和未来展望

相对于其他同类研究,本研究具有一定的优势。第一,研究检索了7个数据库,获取了尽可能多的文献,增加了文献的来源。第二,研究从不同角度分析了PA对ADHD儿童青少年WM的影响,包括干预方案(类型、周期、时间、频率、强度等)以及其他相关因素(性别因素与药物治疗等),并探讨了其影响的机制。尽管如此,这本研究仍然存在局限性。第一,研究仅纳入了中英文文献,缺乏其他语言的文献。第二,由于纳入的研究报告的随访数据有限,无法分析PA对ADHD儿童青少年WM的长期影响。

总而言之,在未来的研究当中,建议多增加不同PA类型(如球类、操舞、游泳、民族传统体育等)的试验研究,在PA方式的选择和设计上应根据儿童青少年的功能缺陷水平体现个性化方案,同时兼顾PA的趣味性和吸引儿童的兴趣。此外,我们也鼓励以PA与认知训练等进行联合干预,但在干预过程中要对运动周期、运动强度、单次运动时间与运动频率等有科学的检测和把控。

4 结论

PA可以改善ADHD儿童青少年的WM。对于ADHD儿童青少年来说,持续4周及以上,每周3次,且每次30~60min的中等强度训练(主要是开放式运动技能和AE),效果可能更佳。此外,性别因素、药物治疗以及其他因素都可能对效果产生影响。

参考文献:

- [1] POSNER J, POLANCZYK G V, SONUGA-BARKE E. Attention-deficit hyperactivity disorder[J]. *Lancet* (London, England), 2020, 395(10222):450-462. DOI:10.1016/s0140-6736(19)33004-1.
- [2] TENG S U J A R I T K U L M, L O U T H R E N O O O, B O O N C H O O D U A N G N. Emotional/Behavioural Problems and Functional Impairment in

- Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder[J]. East Asian archives of psychiatry, 2020, 30(3):79-83. DOI:10.12809/eaap1921.
- [3] THAPAR A, COOPER M. Attention deficit hyperactivity disorder [J]. Lancet, 2016, 387(10024):1240-1250. DOI:10.1016/s0140-6736(15)00238-x.
- [4] SHAW M, HODGKINS P, CACI H, et al. A systematic review and analysis of long-term outcomes in attention deficit hyperactivity disorder: effects of treatment and non-treatment[J]. BMC medicine, 2012, 10:99. DOI:10.1186/1741-7015-10-99.
- [5] WITTCHEN H U, JACOBI F, REHM J, et al. The size and burden of mental disorders and other disorders of the brain in Europe 2010 [J]. European neuropsychopharmacology : the journal of the European College of Neuropsychopharmacology, 2011, 21(9):655-679. DOI:10.1016/j.euroneuro.2011.07.018.
- [6] KOFLER M J, IRWIN L N, SOTO E F, et al. Executive Functioning Heterogeneity in Pediatric ADHD[J]. Journal of abnormal child psychology, 2019, 47(2):273-286. DOI:10.1007/s10802-018-0438-2.
- [7] BLAIR C. Educating executive function[J]. Wiley interdisciplinary reviews Cognitive science, 2017, 8(1-2). DOI:10.1002/wcs.1403.
- [8] DIAMOND A. Executive functions[J]. Annual review of psychology, 2013, 64:135-168. DOI:10.1146/annurev-psych-113011-143750.
- [9] ALLOWAY T P, GATHERCOLE S E, WILLIS C, et al. A structural analysis of working memory and related cognitive skills in young children[J]. Journal of experimental child psychology, 2004, 87(2):85-106. DOI:10.1016/j.jecp.2003.10.002.
- [10] IRWIN L N, SOTO E F, CHAN E S M, et al. Activities of daily living and working memory in pediatric attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD)[J]. Child neuropsychology: a journal on normal and abnormal development in childhood and adolescence, 2021, 27(4):468-490. DOI:10.1080/09297049.2020.1866521.
- [11] 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. DOI:10.1177/1087054714527793.
- [12] KOFLER M J, RAPPORT M D, BOLDEN J, et al. ADHD and working memory: the impact of central executive deficits and exceeding storage/rehearsal capacity on observed inattentive behavior [J]. Journal of abnormal child psychology, 2010, 38(2):149-161. DOI:10.1007/s10802-009-9357-6.
- [13] COLOMER C, BERENQUER C, ROSELLÓ B, et al. The Impact of Inattention, Hyperactivity/Impulsivity Symptoms, and Executive Functions on Learning Behaviors of Children with ADHD[J]. Frontiers in psychology, 2017, 8:540. DOI:10.3389/fpsyg.2017.00540.
- [14] SCHWÖRER M C, REINELT T, PETERMANN F, et al. Influence of executive functions on the self-reported health-related quality of life of children with ADHD[J]. Quality of life research : an international journal of quality of life aspects of treatment, care and rehabilitation, 2020, 29(5):1183-1192. DOI:10.1007/s11136-019-02394-4.
- [15] CHAN Y S, JANG J T, HO C S. Effects of physical exercise on children with attention deficit hyperactivity disorder[J]. Biomedical journal, 2022, 45(2):265-270. DOI:10.1016/j.bj.2021.11.011.
- [16] NG Q X. A Systematic Review of the Use of Bupropion for Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder in Children and Adolescents [J]. Journal of child and adolescent psychopharmacology, 2017, 27(2):112-116. DOI:10.1089/cap.2016.0124.
- [17] PLISZKA S. Practice parameter for the assessment and treatment of children and adolescents with attention-deficit/hyperactivity disorder[J]. Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry, 2007, 46(7):894-921. DOI:10.1097/chi.0b013e318054e724.
- [18] KRINZINGER H, HALL C L, GROOM M J, et al. Neurological and psychiatric adverse effects of long-term methylphenidate treatment in ADHD: A map of the current evidence[J]. Neuroscience and biobehavioral reviews, 2019, 107:945-968. DOI:10.1016/j.neubiorev.2019.09.023.
- [19] SUN W, YU M, ZHOU X. Effects of physical exercise on attention deficit and other major symptoms in children with ADHD: A meta-analysis[J]. Psychiatry research, 2022, 311:114509. DOI:10.1016/j.psychres.2022.114509.
- [20] CATALÁ-LÓPEZ F, HUTTON B, NÚÑEZ-BELTRÁN A, et al. The pharmacological and non-pharmacological treatment of attention deficit hyperactivity disorder in children and adolescents: A systematic review with network meta-analyses of randomised trials[J]. PloS one, 2017, 12(7):e0180355. DOI:10.1371/journal.pone.0180355.
- [21] HALPERIN J M, BERWID O G, O'NEILL S. Healthy body, healthy mind?: the effectiveness of physical activity to treat ADHD in children[J]. Child and adolescent psychiatric clinics of North America, 2014, 23(4):899-936. DOI:10.1016/j.chc.2014.05.005.
- [22] CHRONIS A M, JONES H A, RAGGI V L. Evidence-based psychosocial treatments for children and adolescents with attention-deficit/hyperactivity disorder[J]. Clinical psychology review, 2006, 26(4):486-502. DOI:10.1016/j.cpr.2006.01.002.
- [23] ZHU F, ZHU X, BI X, et al. Comparative effectiveness of various physical exercise interventions on executive functions and related symptoms in children and adolescents with attention deficit hyperactivity disorder: A systematic review and network meta-analysis [J]. Frontiers in public health, 2023, 11:1133727. DOI:10.3389/fpubh.2023.1133727.
- [24] XIE Y, GAO X, SONG Y, et al. Effectiveness of Physical Activity Intervention on ADHD Symptoms: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. Frontiers in psychiatry, 2021, 12:706625. DOI:10.3389/fpsy.2021.706625.
- [25] WANG M, YANG X, YU J, et al. Effects of Physical Activity on Inhibitory Function in Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. International journal of environmental research and public health, 2023, 20(2). DOI:10.3390/ijerph20021032.
- [26] SUAREZ-MANZANO S, RUIZ-ARIZA A, DE LA TORRE-CRUZ M, et al. Acute and chronic effect of physical activity on cognition and behaviour in young people with ADHD: A systematic review of intervention studies[J]. Research in developmental disabilities, 2018, 77:12-23. DOI:10.1016/j.ridd.2018.03.015.
- [27] SONG Y, FAN B, WANG C, et al. Meta-analysis of the effects of physical activity on executive function in children and adolescents with attention deficit hyperactivity disorder[J]. PloS one, 2023, 18(8):e0289732. DOI:10.1371/journal.pone.0289732.
- [28] JEYANTHI S, ARUMUGAM N, PARASHER R K. Effect of physical exercises on attention, motor skill and physical fitness in chil-

- dren with attention deficit hyperactivity disorder: a systematic review [J]. *Attention deficit and hyperactivity disorders*, 2019, 11(2):125–137. DOI:10.1007/s12402-018-0270-0.
- [29] LIANG X, LI R, WONG S H S, et al. The impact of exercise interventions concerning executive functions of children and adolescents with attention-deficit/hyperactive disorder: a systematic review and meta-analysis[J]. *The international journal of behavioral nutrition and physical activity*, 2021, 18(1):68. DOI:10.1186/s12966-021-01135-6.
- [30] NG Q X, HO C Y X, CHAN H W, et al. Managing childhood and adolescent attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) with exercise: A systematic review [J]. *Complementary therapies in medicine*, 2017, 34:123–128. DOI:10.1016/j.ctim.2017.08.018.
- [31] NEUDECKER C, MEWES N, REIMERS A K, et al. Exercise Interventions in Children and Adolescents With ADHD: A Systematic Review[J]. *Journal of attention disorders*, 2019, 23(4):307–224. DOI:10.1177/1087054715584053.
- [32] CERRILLO-URBINA A J, GARCÍA-HERMOSO A, SÁNCHEZ-LÓPEZ M, et al. The effects of physical exercise in children with attention deficit hyperactivity disorder: a systematic review and meta-analysis of randomized control trials[J]. *Child: care, health and development*, 2015, 41(6):779–788. DOI:10.1111/cch.12255.
- [33] MONTALVA-VALENZUELA F, ANDRADES-RAMÍREZ O, CASTILLO-PAREDES A. Effects of Physical Activity, Exercise and Sport on Executive Function in Young People with Attention Deficit Hyperactivity Disorder: A Systematic Review[J]. *European journal of investigation in health, psychology and education*, 2022, 12(1): 61–76. DOI:10.3390/ejihpe12010006.
- [34] MEHREN A, ÖZYURT J, LAM A P, et al. Acute Effects of Aerobic Exercise on Executive Function and Attention in Adult Patients With ADHD[J]. *Frontiers in psychiatry*, 2019, 10:132. DOI:10.3389/fpsy.2019.00132.
- [35] HUTTON B, SALANTI G, CALDWELL D M, et al. The PRISMA extension statement for reporting of systematic reviews incorporating network meta-analyses of health care interventions: checklist and explanations[J]. *Annals of internal medicine*, 2015, 162(11):777–784. DOI:10.7326/m14-2385.
- [36] CASHIN A G, MCAULEY J H. Climimetrics: Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Scale[J]. *J Physiother*, 2020, 66(1):59.
- [37] ZIEREIS S, JANSEN P. Effects of physical activity on executive function and motor performance in children with ADHD[J]. *Research in developmental disabilities*, 2015, 38:181–191. DOI:10.1016/j.ridd.2014.12.005.
- [38] BUSTAMANTE E E, DAVIS C L, FRAZIER S L, et al. Randomized Controlled Trial of Exercise for ADHD and Disruptive Behavior Disorders[J]. *Medicine and science in sports and exercise*, 2016, 48(7):1397–1407. DOI:10.1249/mss.0000000000000891.
- [39] BENZING V, SCHMIDT M. Cognitively and physically demanding exergaming to improve executive functions of children with attention deficit hyperactivity disorder: a randomised clinical trial[J]. *BMC pediatrics*, 2017, 17(1):8. DOI:10.1186/s12887-016-0757-9.
- [40] BENZING V, CHANG Y K, SCHMIDT M. Acute Physical Activity Enhances Executive Functions in Children with ADHD[J]. *Scientific reports*, 2018, 8(1):12382. DOI:10.1038/s41598-018-30067-8.
- [41] 刘阳, 杨宁. 定向运动练习对 ADHD 儿童认知能力影响的实验研究[J]. *中国特殊教育*, 2018(11):39–44.
- [42] BENZING V, SCHMIDT M. The effect of exergaming on executive functions in children with ADHD: A randomized clinical trial [J]. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 2019, 29(8): 1243–1253. DOI:10.1111/sms.13446.
- [43] SMITH S D, VITULANO L A, KATSOVICH L, et al. A Randomized Controlled Trial of an Integrated Brain, Body, and Social Intervention for Children With ADHD[J]. *Journal of attention disorders*, 2020, 24(5):780–794. DOI:10.1177/1087054716647490.
- [44] 宋杨, 刘阳, 杨宁, 等. 定向运动练习改善注意缺陷多动障碍儿童执行功能的研究[J]. *体育学刊*, 2020, 27(3):110–115.
- [45] BIGELOW H, GOTTLIEB M D, OGRODNIK M, et al. The Differential Impact of Acute Exercise and Mindfulness Meditation on Executive Functioning and Psycho-Emotional Well-Being in Children and Youth With ADHD[J]. *Frontiers in psychology*, 2021, 12:660 845. DOI:10.3389/fpsyg.2021.660845.
- [46] NEJATI V. Balance-based Attentive Rehabilitation of Attention Networks (BARAN) improves executive functions and ameliorates behavioral symptoms in children with ADHD [J]. *Complementary therapies in medicine*, 2021, 60:102759. DOI:10.1016/j.ctim.2021.102759.
- [47] NEJATI V, DERAKHSHAN Z. The effect of physical activity with and without cognitive demand on the improvement of executive functions and behavioral symptoms in children with ADHD[J]. *Expert review of neurotherapeutics*, 2021, 21(5):607–614. DOI:10.1080/14737175.2021.1912600.
- [48] LIANG X, QIU H, WANG P, et al. The impacts of a combined exercise on executive function in children with ADHD: A randomized controlled trial[J]. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 2022, 32(8):1297–1312. DOI:10.1111/sms.14192.
- [49] LUDYGA S, MÜCKE M, LEUENBERGER R, et al. Behavioral and neurocognitive effects of judo training on working memory capacity in children with ADHD: A randomized controlled trial[J]. *NeuroImage Clinical*, 2022, 36:103156. DOI:10.1016/j.nicl.2022.103156.
- [50] 陈小明, 梁冠军, 李明娣, 等. 有氧运动对注意缺陷多动障碍儿童核心症状和执行功能的影响[J]. *中国康复理论与实践*, 2022, 28(6):704–709.
- [51] 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.
- [52] GU Q, ZOU L, LOPRINZI P D, et al. Effects of Open Versus Closed Skill Exercise on Cognitive Function: A Systematic Review [J]. *Frontiers in psychology*, 2019, 10:1707. DOI:10.3389/fpsyg.2019.01707.
- [53] GAPIN J, ETNIER J L. The relationship between physical activity and executive function performance in children with attention-deficit hyperactivity disorder[J]. *Journal of sport & exercise psychology*, 2010, 32(6):753–763. DOI:10.1123/jsep.32.6.753.
- [54] 李焱, 江文庆, 钱昀, 等. 工作记忆训练对注意缺陷多动障碍患儿疗效的研究进展[J]. *中国儿童保健杂志*, 2021, 29(6):641–644+659.
- [55] SILVA L A D, DOYENART R, HENRIQUE SALVAN P, et al. Swimming training improves mental health parameters, cognition and motor coordination in children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder[J]. *International journal of environmental health research*, 2020, 30(5):584–592. DOI:10.1080/09603123.2019.1612

- 041.
- [56] LUDYGA S, GERBER M, KAMIJO K. Exercise types and working memory components during development[J]. Trends in cognitive sciences, 2022, 26(3):191–203. DOI:10.1016/j.tics.2021.12.004.
- [57] LUDYGA S, GERBER M, PÜHSE U, et al. Systematic review and meta-analysis investigating moderators of long-term effects of exercise on cognition in healthy individuals[J]. Nature human behaviour, 2020, 4(6):603–612. DOI:10.1038/s41562-020-0851-8.
- [58] CASTELLANOS F X, PROAL E. Large-scale brain systems in ADHD: beyond the prefrontal-striatal model[J]. Trends in cognitive sciences, 2012, 16(1):17–26. DOI:10.1016/j.tics.2011.11.007.
- [59] BELLATO A, ARORA I, HOLLIS C, et al. Is autonomic nervous system function atypical in attention deficit hyperactivity disorder (ADHD)? A systematic review of the evidence [J]. Neuroscience and biobehavioral reviews, 2020, 108:182–206. DOI:10.1016/j.neubiorev.2019.11.001.
- [60] ARNSTEN A F, PLISZKA S R. Catecholamine influences on prefrontal cortical function: relevance to treatment of attention deficit/hyperactivity disorder and related disorders[J]. Pharmacology, biochemistry, and behavior, 2011, 99(2):211–216. DOI:10.1016/j.pbb.2011.01.020.
- [61] CORTESE S, KELLY C, CHABERNAUD C, et al. Toward systems neuroscience of ADHD: a meta-analysis of 55 fMRI studies[J]. The American journal of psychiatry, 2012, 169 (10):1038–1055. DOI: 10.1176/appi.ajp.2012.11101521.
- [62] CHRISTIANSEN L, BECK M M, BILENBERG N, et al. Effects of Exercise on Cognitive Performance in Children and Adolescents with ADHD: Potential Mechanisms and Evidence-based Recommendations[J]. Journal of clinical medicine, 2019, 8(6). DOI:10.3390/jcm8060841.
- [63] DIAMOND A. Activities and Programs That Improve Children's Executive Functions[J]. Current directions in psychological science, 2012, 21(5):335–341. DOI:10.1177/0963721412453722.
- [64] GUINEY H, MACHADO L. Benefits of regular aerobic exercise for executive functioning in healthy populations[J]. Psychonomic bulletin & review, 2013, 20 (1):73–86. DOI:10.3758/s13423-012-0345-4.
- [65] BARNARD-BRAK L, DAVIS T, SULAK T, et al. The association between physical education and symptoms of attention deficit hyperactivity disorder[J]. Journal of physical activity & health, 2011, 8 (7):964–970. DOI:10.1123/jpah.8.7.964.
- [66] ANISH E J. Exercise and its effects on the central nervous system[J]. Current sports medicine reports, 2005, 4(1):18–23. DOI:10.1097/01.csmr.0000306066.14026.77.
- [67] KASHIHARA K, MARUYAMA T, MUROTA M, et al. Positive effects of acute and moderate physical exercise on cognitive function [J]. Journal of physiological anthropology, 2009, 28(4):155–164. DOI: 10.2114/jpa2.28.155.