

“行”者常“知”：运动对执行功能的促进作用

冯子藤, 慕德芳*

天津商业大学法学院, 天津

收稿日期: 2025年3月8日; 录用日期: 2025年4月14日; 发布日期: 2025年4月27日

摘要

运动是影响个体执行功能的重要因素及干预方式。如何制定科学、安全、有效且针对性强的运动方案是促进执行功能的关键。基于以往文献总结运动类型的分类, 运动强度、频率及周期的界定标准, 并从这些运动要素出发全面梳理运动对不同群体执行功能及其子成分的干预效果。研究表明: 30分钟中等强度的急性有氧运动, 中/高频率(周)、30~60分钟/次、中等强度的短周期有氧运动, 高强度间歇运动, 运动-认知双任务训练以及抗阻运动都能够显著改善执行功能。不同类型运动对各类人群的执行功能及其子成分具有不同程度的促进作用。未来研究需要进一步统一运动强度的标准, 综合运动各要素设计科学的运动干预方案探讨其效用, 深入进行理论解释和整合。

关键词

运动类型, 运动强度, 执行功能

Those Who “Act” Often “Know”: The Role of Exercise in Promoting Executive Function

Ziteng Feng, Defang Mu*

School of Law, Tianjin University of Commerce, Tianjin

Received: Mar. 8th, 2025; accepted: Apr. 14th, 2025; published: Apr. 27th, 2025

Abstract

Exercise is an important factor and the mode of intervention affecting individual executive function. How to develop a scientific, safe, effective and targeted exercise program is the key to promoting

*通讯作者。

executive function. Based on the previous literature, the classification of exercise types, the definition criteria of exercise intensity, frequency and cycle were summarized, and the intervention effects of exercise on executive function and its sub-components in different groups were comprehensively sorted out from these exercise elements. The results showed that 30 minutes of moderate-intensity acute aerobic exercise, moderate/high-frequency (week), 30~60 minutes/time, moderate-intensity short-cycle aerobic exercise, high-intensity interval exercise, exercise-cognitive dual task training and resistance exercise could significantly improve executive function. Different types of exercise have different degrees of promotion effect on the executive function and its sub-components of different types of people. In the future, it is necessary to further unify the standard of exercise intensity, comprehensively design a scientific exercise intervention program to explore its effectiveness, and carry out in-depth theoretical explanation and integration.

Keywords

Type of Exercise, Exercise Intensity, Executive Functions

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 执行功能概述

执行功能(Executive function, EF)是个体在以目标为导向的行为中,对自身思维和行为进行控制和调节的一种自上而下的心理过程(Diamond, 2012),其子成分主要包括抑制控制、工作记忆和认知灵活性(Miyake et al., 2000)。执行功能是一种高级的认知功能,对个体情绪调节、学业成就等方面具有重要的影响(Sperduti et al., 2017; Veraksa et al., 2022)。

运动是个体执行功能发展的重要影响因素及积极的干预方式(邢淑芬等, 2016; 张斌, 刘莹, 2019; Martins et al., 2021; Xiang et al., 2023; Yang et al., 2023)。运动通过改变大脑双侧前额叶皮质(PFC)脑区的激活模式、激活程度、激活范围和加强这些区域之间的功能连接来增强执行功能(Ji et al., 2023)。从分子生物学角度来看,运动增加激素、神经递质等物质的释放,增强相关脑区的基因表达以及改善脑组织的抗氧化能力从而有效改善执行功能(蔡春先, 张运亮, 2020)。因为每项运动都存在特异性,且运动训练中机体产生的生理变化具有复杂性和个体差异性,所以并非所有运动方案都能带来最佳干预效果,那选择什么运动类型,如何安排运动强度,运动时间及频率才能改善或促进执行功能呢?为了让运动干预方案更有针对性,更有效,研究根据运动特征(如类型、强度、持续时间等)选择综合的剂量-效应的运动方案,从不同年龄阶段、不同群体的个性化运动方案及执行功能子成分等角度全面梳理运动对执行功能的作用。

2. 运动类型划分、运动强度标准及运动周期界定

运动干预方案的有效性涉及合适的运动类型,合理的运动强度、运动持续时间及频率等因素,因此,除了运动持续时间外,运动对执行功能的影响还需要从三个方面考虑:运动类型、运动强度和运动周期。

首先是运动类型划分。根据运动时肌肉收缩的能量来自有氧代谢还是无氧代谢,运动可以分为有氧运动和无氧运动(王瑞元, 苏全生, 2012)。根据连续性标准,运动可以分为连续性运动和间歇性运动。除此之外,运动类型还包括运动-认知双任务训练和抗阻运动。运动-认知双任务训练是与认知相结合的特殊运动(Yang et al., 2023)。抗阻运动,也称抗阻训练或阻力训练,是一种激活具体肌肉群对抗外来阻力的运动(于宏达等, 2023)。

其次是运动强度的标准。运动强度是运动干预方案或运动处方中最关键的因素。运动强度通常使用耗氧量、心率和主观感觉等级等方法来判断。第一种方法是采用运动时最大耗氧量的百分比来区分运动强度。最大运动强度为达到最大耗氧量的 100%，高运动强度为达到最大耗氧量的 80%，中等运动强度为达到最大耗氧量的 60%，中低运动强度为达到最大耗氧量的 40%，低运动强度为达到最大耗氧量的 20% (Tsukamoto et al., 2016; Zhu et al., 2021)。第二种方法是采用运动时最大心率的百分比来区分运动强度。不过这种方法需要针对具体的年龄阶段来进行区分，因为不同年龄段的心率标准有所不同，所以若使用同一个最大心率指标会产生较大的误差。对于大部分人来说，可以采用最大心率 = $220 - \text{年龄(岁)}$ 或最大心率 = $210 - [0.5 \times \text{年龄(岁)}]$ 这两个公式计算最大心率 (Benson & Connolly, 2022)。对于一般的成年人，可以设定最大运动强度为 70%~80% 最大心率，中等运动强度为 60%~70% 最大心率，低运动强度为 50%~60% 最大心率 (Hung et al., 2013)。研究表明，在中/低强度运动下，个体最大心率百分比与最大耗氧量百分比成正相关，而在高强度运动下，心率趋于平稳(非线性)，摄氧量依旧呈线性增长 (Benson & Connolly, 2022)。第三种方法是根据瑞典生理学家 Borg 的主观感觉等级量表(RPE)来判断运动强度。Borg (1970)把主观感觉分为 20 个不同等级，1 是极度轻松，20 是极度疲劳。一般认为低运动强度为 RPE10~11，中等运动强度为 RPE12~14，高运动强度为 RPE15~16。已有研究大都采用最大耗氧量和最大心率的方式界定运动强度。

第三是运动周期的界定。研究者通常将运动周期划分为短期、中等和长期。短周期为 4~12 周，中等周期为 13~24 周，长周期为超过 24 周；低频率为 1~2 次/周，中等频率为 3~4 次/周，高频率为超过 4 次/周 (Lin et al., 2022)。

3. 不同类型运动干预对执行功能的作用

研究者通常使用 Stroop 任务、侧抑制任务、双选择任务等评估抑制控制能力；使用威斯康星卡片分类测验(WCST)、维度变化卡片分类测验(DCCS)、连线测验 A (TMT-A)、连线测验 B (TMT-B)、数字符号替换测试(DSCT/DSST)、数字转换任务(More-odd shifting task)等任务评估认知灵活性；使用数字广度任务(DST)、N-back 任务、言语流畅性测试(VFT)，词汇联想测试(COWAT)等任务测量工作记忆 (Lin et al., 2022)。执行功能测量通常在实验前及实验后即时(1 分钟)进行，而在探究实验的延迟效果时，通常在实验后 10 分钟、30 分钟、60 分钟进行执行功能后测 (Martins et al., 2021; Zhu et al., 2021)。

3.1. 有氧运动对执行功能的作用

有氧运动是指人体肌肉处于有氧代谢状态的情况下进行的运动，人体吸入的氧气与身体所需要的氧气量达到生理上的平衡。相比无氧运动，有氧运动具有时间长、强度低的特点，比如，游泳、篮球、网球、健美操等项目。

3.1.1. 急性有氧运动

急性有氧运动是通过有氧代谢提供能量且持续时间为 10~60 分钟的运动。早期研究大多探究中等强度急性有氧运动对执行功能的影响。

解超等人(2016)进行元分析的 8 篇文献均为运动持续时间为 10~30 分钟的中等强度急性有氧运动，解超等人(2017)在元分析纳入 10 篇文献，样本年龄段为 9~11 岁，运动的项目包括花样跑步、慢跑、篮球、跳绳、乒乓球等多种有氧运动。其中 7 篇为运动持续时间为 20~30 分钟的急性有氧运动。两项元分析研究结果发现，10~30 分钟的中等强度急性有氧运动对学龄儿童执行功能的发展具有非常好的提升效果。对于超重儿童，40 分钟中等程度的急性有氧运动(“篮球 + 跳绳”组合运动)对执行功能的改善效果更好 (李焕玉等, 2022)。

对于青年人和老年人而言, 运动持续时间为 20~30 分钟中等强度的急性有氧运动对执行功能同样有益。陈爱国等人(2011)使用功率自行车进行运动干预研究。研究将低有氧运动强度设定为 50%~59%最大心率, 中等强度为 60%~69%最大心率, 高强度设为 70%~79%最大心率, 其中最大心率 = 220 - 年龄。从达到相应强度心率的目标区开始计时运动 30 分钟, 运动前后分别使用侧抑制任务、2-back 任务和数字转换任务对测量执行功能。研究结果发现, 30 分钟中等强度的急性有氧运动对大学生执行功能的改善效果最好。研究结果也表明, 20~25 分钟的中等强度急性有氧运动可以显著促进老年人的执行功能(王芃等, 2023)。

综上文献所述, 很多研究将中等运动强度设定为最大心率的 60%~69%, 也有研究者采用最大耗氧量百分比进行区分, 比如, Labelle 等人(2013)研究中将个体最大耗氧量的 40%、60%、80%定为低、中、高三种有氧运动强度。因此, 同样是中等强度的运动干预方案, 也需要考虑运动强度的区分方法和标准。

3.1.2. 周期性有氧运动

近年来, 研究者开始探讨周期性有氧运动的干预效果。元分析结果表明, 对于学龄儿童, 短周期(4~12 周)、3~5 次/周、30~60 分钟/次、中等强度(最大心率的 40%~80%)的有氧运动对执行功能有更明显的促进作用(连晓莉, 于海滨, 2023)。运动干预方案包括花样跑步、趣味田径游戏、小手球 + 素质练习、踢毽 + 游戏、武术 + 花样跳绳 + 8 字跑、篮球等(潘家礼等, 2016)。

此外, 张莹等人(2020)对 4~5 岁幼儿进行为期 12 周、3 次/周、30 分钟/次的“体育游戏 + 小蹦床”组合练习的运动干预实验; 陈爱国等人(2015)对聋哑儿童进行为期 8 周、3 次/周、40 分钟/次、中等运动强度(最大心率的 60%~69%)的有氧运动干预; 李琳等人(2020)对女大学生进行为期 8 周、3 次/周、50 分钟/次的有氧健身操干预实验, 这些研究结果均得出短周期、中等频率、30 分钟/次以上的中等强度有氧运动干预对个体执行功能具有积极作用。

综上已有文献研究结果, 30 分钟左右的中等强度急性有氧运动以及中等运动频率(周)、30~60 分钟/次、中等强度的周期性有氧运动对执行功能的改善效果更佳。

3.2. 连续性与间歇性运动对执行功能的作用

间歇性运动是指在一次练习之后, 严格控制间歇时间, 在机体未完全恢复的情况下反复进行练习的运动; 连续性运动是负荷强度低, 时间长, 无间断持续进行的运动。

已有研究大多选取高强度间歇运动与中等强度连续运动探讨二者对执行功能的影响, 研究结果表明, 高强度间歇运动比中等强度连续运动对执行功能改善的延迟效益更好, 且这种作用可以持续到运动后 30 分钟。比如, Tsukamoto 等人(2016)研究采用的高强度间歇运动方案为: 先以最大耗氧量的 60%进行 5 分钟运动, 接着以最大耗氧量的 90%持续运动 4 分钟, 最后以最大耗氧量的 60%进行 3 分钟的主动恢复, 过程重复四次, 总时间为 33 分钟; 中等强度连续运动方案为: 以最大耗氧量的 60%连续运动 40 分钟。两种运动方案的运动量相同, 分别在运动前、运动后 1 分钟、运动后 10 分钟、运动后 20 分钟和运动后 30 分钟使用 Stroop 任务评估执行功能。研究结果发现, 高强度间歇运动和中等强度连续运动对运动后 1 分钟的执行功能具有同样的影响, 但高强度间歇运动在运动后 30 分钟持续改善执行功能, 而中等强度持续运动下的执行功能在运动后 30 分钟恢复到运动前水平。Zhu 等人(2021)使用与 Tsukamoto 相同的运动方案, 选取 16 名男性为被试, 但把运动方式改为跑步和骑车。最后在运动前、运动后 1 分钟和运动后 10 分钟通过侧抑制任务评估执行功能。研究结果也支持了这一观点, 30 分钟的高强度间歇运动对执行功能改善的延迟效用更好。

以上两项研究中的执行功能更偏重于其抑制控制成分。杨勇涛等人(2021)将被试分为高强度间歇运动组和中等强度连续运动组, 高强度间歇运动组进行 6 组运动, 每组运动包括 150 秒不低于 85%最大心

率的全速爬楼梯和 150 秒 50%最大心率主动恢复时间; 中等强度连续运动组以 60%~70%最大心率完成 30 分钟运动。结果发现, 30 分钟的中等强度连续运动对抑制控制和工作记忆有促进作用, 30 分钟的高强度间歇运动更有助于工作记忆和认知灵活性的改善。

3.3. 运动 - 认知双任务训练对执行功能的作用

通过运动和认知训练改善个体执行功能是体育教育和认知科学的研究热点。运动 - 认知双任务训练是一种较为特殊的运动方式, 是指在执行认知训练任务的同时进行运动训练, 例如, 在走路时数数或背诵诗歌(Yang et al., 2023)。Herold 等人(2018)按照运动和认知练习的时间顺序, 将运动 - 认知训练分为继时性运动 - 认知训练(sequential motor-cognitive training)和同时性运动 - 认知训练(simultaneous motor-cognitive training)。同时性运动 - 认知训练是指在运动过程中同时进行认知训练, 而继时性运动 - 认知训练指运动和认知训练分开进行的训练。目前研究大多探讨短周期的同时性运动 - 认知训练对执行功能的作用。

研究表明, 与单纯的认知训练和运动训练相比, 短周期的中等强度同时运动 - 认知双任务训练对执行功能的改善作用更强, 且对儿童、青少年及老年人的执行功能均具有改善作用。运动 - 认知双任务训练主要采取慢跑 - 更新任务等方式。

研究表明, 6 周的同时性运动 - 认知双任务训练对儿童的执行功能发展更有益处(Schmidt et al., 2020); 8 周训练对留守儿童的执行功能同样具有促进作用(陈爱国等, 2016); 10 周训练对注意力缺陷多动障碍儿童的执行功能具有更显著的促进作用(宋杨等, 2020)。

Xiang 等人(2023)将 33 名青少年射击运动员随机分配到运动 - 认知训练组或计算机认知训练组, 比较他们在训练 6 周后的执行功能。同时性运动 - 认知双任务训练包括慢跑 - 更新任务、快速到位 - 切换任务以及原地跳跃千斤顶 - 抑制任务, 而计算机认知训练组仅完成计算机上的认知任务。所有参与者在训练前后均使用 2-back、任务切换和 Stroop 任务评估执行功能。研究结果发现, 短周期的同时性运动 - 认知双任务训练对执行功能的工作记忆刷新和认知灵活性均有积极作用, 而计算机认知训练仅对工作记忆刷新有积极作用。

短周期的运动 - 认知双任务训练同样能够改善老年人尤其是患有轻度认知障碍老年人的执行功能。Combourieu-Donnezan 等人(2018)将 24 名被诊断患有轻度认知障碍的老年人随机分配到同时性运动 - 认知双任务训练组、仅运动训练组、仅认知训练组和无干预对照组中进行为期 12 周、2 次/周、60 分钟/次的干预。同时性运动 - 认知双任务训练使用双任务行走方式, 要求老年人在边走路边执行工作记忆任务, 在结束后即时和结束后 6 个月对执行功能进行评估。研究结果表明, 尽管短周期的认知训练和同时性运动 - 认知双任务训练都能够提高轻度认知障碍患者的执行功能, 但是短周期同时性运动 - 认知双任务训练的影响效果更佳。

3.4. 抗阻运动对执行功能的作用

综合 24 项干预研究的元分析结果表明, 抗阻运动对健康人群的执行功能改善具有非常积极的作用, 抗阻运动是改善睡眠质量的最有效非药物方法, 比有氧运动更有效(Hirohama et al., 2024)。研究发现, 30 分钟左右的高强度抗阻运动就能够改善海洛因成瘾者的抑制功能(吕泽慧等, 2021)。

王晓磊等人(2018)研究结果发现, 抗阻运动对青年男性的执行功能有提高作用, 但效果不如高强度间歇运动方式。其中抗阻运动是进行四组(每组重复 8~12 次)负荷强度为 60%RM 的杠铃卧推、负重深蹲和屈膝硬拉的抗阻运动干预。李琳等人(2020)对女大学生被试进行以弓步下蹲、深蹲、前平举、臂弯举、弓步斜上拉、俯身划船 6 个弹力带动作为干预内容, 为期 8 周的中等强度抗阻运动干预, 中等强度抗阻运动所对应的最大重复次数分别为 6~15 RM, 练习间隔时间为 1 分钟, 每个动作完成 3 组, 每组重复 10

次。结果同样发现, 短周期的中等强度抗阻运动提高了女大学生的执行功能水平。

抗阻运动对老年群体的执行功能同样有明显的改善效果。研究者对 45 名老年人进行为期 12 周的快速核心练习以提高肌肉力量训练, 研究结果表明, 短周期的抗阻训练干预能够改善行动不便老年人的执行功能(Feter et al., 2023)。总体来说, 短周期的中等强度及高强度抗阻运动对执行功能都具有更好的干预效果。

4. 不同运动干预方案对患病人群执行功能的作用

科学运动干预方案是以规范的运动方式和规定的运动频率、强度、时间、周运动总量、进阶等, 形成个性化健康促进及疾病防治的主动运动指导, 也称运动处方(黄荣等, 2024)。对患病群体的运动处方具有很强的针对性, 更需要考虑运动周期、频率等问题, 从而对执行功能产生最佳效果, 比如, 对注意缺陷障碍儿童并不是干预周期越长效果越好。

4.1. 不同运动方案对注意力缺陷多动障碍儿童执行功能的作用

运动对注意力缺陷多动障碍(ADHD)儿童的执行功能具有积极影响(Sun et al., 2022; 宋以玲等, 2021), 其运动干预方案需要注意两点: 一是 6~13 岁是运动干预的最佳时期且干预效果随年龄增加而降低, 而运动与药物联合治疗的干预效果与单纯长期的运动干预效果差异不大(杨波, 2021)。

从运动类型看, 具有全身运动特征的有氧运动对注意力缺陷多动障碍儿童抑制控制和认知灵活性的改善效果更好(杨波, 2021), 其中, 跑步和其他身体活动模式(蹦床、协调运动)更有促进作用, 而骑自行车则没有这种积极作用(Sibbick et al., 2022)。此外, 研究发现, 为期 12 周的柔道训练和运动-认知双任务训练也能够提高注意力缺陷多动障碍儿童的执行功能(Ludyga, et al., 2022a; Benzing et al., 2018; 宋杨等, 2020)。

尽管周期性的中等强度运动干预对注意力缺陷多动障碍儿童的执行功能更有益, 但并不是干预周期越长越好, 超过 8 周后干预效果会降低。杨孟超等人(2022)基于 14 篇文献进行的元分析结果发现, 为期 6~24 周、1~3 次/周、每次运动持续时间 30~90 分钟的中高强度运动可较为显著地改善注意力缺陷多动障碍儿童的执行功能。杨波(2021)元分析研究发现, 干预周期 6~8 周, 持续时间 40~60 分钟的中等强度运动干预对注意力缺陷多动障碍儿童的抑制控制和认知灵活性的改善效果最佳, 而超过 8 周后持续周期越长, 反而改善效果越低。

从生理机制来看, 当运动为中/高强度时, 机体会激活神经生理反应, 增加儿茶酚胺(如, 多巴胺、去甲肾上腺素)影响认知功能和情绪, 以类似于精神兴奋剂的方式影响注意力缺陷多动障碍患者的执行功能(LaCount et al., 2022), 同时分泌脑源性神经营养因子(BDNF), 增加流向大脑的血流量, 从而改善神经可塑性, 增强信息处理能力, 促进注意力缺陷多动障碍儿童大脑的神经生长和调节(Chan et al., 2022)。因此, 更有效和针对性的运动方案需要考虑周期适合、中/高强度、具有全身运动特征的有氧运动, 更为合理、优化的运动干预方案仍有待继续完善。

4.2. 不同运动方案对阿尔兹海默症老年人执行功能的作用

阿尔兹海默症(Alzheimer's disease, AD)是一种起病隐匿、发展过程渐进的神经系统退行性疾病(Jia et al., 2020)。阿尔兹海默症的发生发展是一个连续性过程, 即从无法察觉的生物学变化开始到最终患者的记忆、认知等大脑功能受到损伤(Sperling et al., 2021)。

Guitar 等人(2018)检索了 2009 年至 2016 年间发表的 6 项对阿尔兹海默症老年人的运动干预研究进行元分析。这 6 项研究中的运动方案包括: 有氧运动、抗阻运动、结合运动(有氧运动、阻力训练、平衡或

柔韧性三种运动相结合)。研究表明, 4 项研究中的运动干预具有积极的促进作用。对于轻度至中度阿尔兹海默症患者, 周期 6 个月的有氧运动能够有效维持其执行功能(Yu et al., 2018)。Zeng 等人(2023)元分析结果进一步表明, 运动周期 ≤ 24 周、低频率(1~2 次/周)、中等强度的有氧运动及抗阻运动对于改善阿尔茨海默症老年人的执行功能具有积极效果。

轻度认知障碍是个体从正常衰老到前期阿尔兹海默症的中间阶段。Lin 等人(2022)元分析结果表明, 运动干预对患有轻度认知障碍老年人的执行功能各个子成分均有积极影响。其中, 中等频率(3~4 次/周)的运动训练比低频率(1~2 次/周)对执行功能具有更明显的改善效果, 并且只有中等频率运动训练对认知灵活性成分具有积极影响; 尽管短周期(4~12 周)、中等周期(13~24 周)和长周期(超过 24 周)的运动均能显著改善轻度认知障碍老年人的工作记忆和认知灵活性, 且运动周期短的运动比中长期运动的影响更大。

上述研究结果表明, 运动能够改善阿尔兹海默症患者的执行功能, 但是改善程度与运动周期、频率、强度和方式等因素有关。中等频率(3~4 次/周)、中等强度的周期性有氧运动和抗阻运动对阿尔兹海默症老年人执行功能的改善效果更佳。

4.3. 不同运动方案对帕金森综合症老年人执行功能的作用

帕金森综合症(Parkinsonism's disease, PD)是多见于中老年人群中的第二大神经系统退行性疾病。该症发现时多已出现静止性震颤、运动迟缓、肌强直等临床上常见的运动症状。

Caciula 等人(2016)通过为期 12 周的高频(4~5 次/周, 30~45 分钟/次)和中/低频率(≤ 3 次/周, 30~45 分钟/次)运动干预, 探究不同频率有氧运动对帕金森综合症患者执行功能的影响。参与者在开始运动干预前 1 周和 12 周运动训练结束后的 48 小时内完成听觉转换任务和听觉 N-back 任务评估执行功能。研究结果表明, 不同频率的短期有氧运动均有利于提高帕金森综合症患者的执行功能, 但与中/低频率运动组相比, 高频有氧运动组在认知灵活性和工作记忆方面具有更明显的改善作用。另有研究者探究了方形步进运动对帕金森综合症患者执行功能的影响(Liu et al., 2022)。研究中将 28 名参与者随机分配到干预周期为 8 周、2 次/周的实验组和对照组。在干预前、干预后即时和干预结束 1 个月后通过连线测验、数字广度任务和蒙特利尔认知评估量表对执行功能进行评估。研究结果显示, 进行短期、低频率方形步进运动训练后, 帕金森综合症患者的数字广度任务显著得到改善。Kim 等人(2023)进一步对 21 项具有对照组的运动干预帕金森综合症研究进行元分析, 结果表明, 中/低强度的 60 分钟/次的有氧运动对帕金森综合症患者的执行功能有益, 将平衡、有氧、协调等多种成分相互结合的联合运动也能显著改善患者执行功能。

综上研究结果, 只要进行短周期中/低等强度、30 分钟/次的有氧运动就会改善帕金森综合症患者的执行功能。

4.4. 不同运动方案对其他人群执行功能的作用

刘智妹等人(2023)研究发现, 5 次/周、40 分钟/次的运动干预可以改善孤独症伴有智力低下儿童的执行功能。球类、武术、格斗、游戏运动干预等方式均可以改善自闭症儿童的执行功能(邢冰冰, 王志丹, 2023)。对于患有高血压的老年人, 运动干预改善了其工作记忆(Hou et al., 2023)。

Noetel 等人(2024)对来自 246 份研究的 495 个组和 14,170 名被试的数据进行了综合分析, 结果发现, 长期中/高强度运动对抑郁症患者具有很好的治疗效果, 显著提高抑郁症患者的执行功能, 其中对抗抑郁最好的运动依次是跳舞、步行或慢跑、瑜伽和抗阻训练, 其中, 年轻参与者在抗阻训练和骑自行车时效果最佳, 而在瑜伽、太极拳和有氧运动的联合治疗中, 老年参与者的效果更为显著。研究还发现, 运动强度与抗抑郁效果之间存在剂量反应关系。剧烈运动(如, 跑步)的效果明显优于轻度运动(如, 步行、瑜伽)。

20 分钟中等强度的急性有氧运动干预对精神分裂症患者的执行功能同样具有改善作用(Subramaniapillai et al., 2016)。研究中将中等强度界定为最大心率的 64%~76%，患者在 5 分钟的热身后达到最大心率(220 - 年龄)的 64%，然后在自行车测力计上以中等强度完成 20 分钟骑行。

运动对药物使用障碍及毒品成瘾等人群的执行功能具有改善作用，比如，干预周期为 8 周、5 次/周，60 分钟/次的有氧运动可以同时改善甲基苯丙胺使用障碍患者的执行功能(Liu & Wang, 2021)。高强度抗阻运动也能够减缓海洛因成瘾者渴求度和改善执行功能，尤其是提高了抑制控制能力(吕泽慧等, 2021)。

5. 运动干预对执行功能不同成分的作用

尽管有氧运动、运动 - 认知双任务等都对执行功能具有促进作用，但在设计运动干预方案时，还需要考虑到执行功能不同成分的差异性。因为不同的运动干预模式对执行功能不同成分具有不同的作用。在执行功能的抑制控制方面，中等强度急性有氧运动对儿童的抑制控制能力有显著影响(Sibbick et al., 2022)，高强度有氧运动(80%~90%最大心率的 20 分钟室内自行车训练)对提高抑制控制能力更具有促进作用(Aguirre-Loaiza et al., 2022)。与封闭运动相比，参与开放式运动(如，游泳)对改善抑制控制更有益(Ludyga et al., 2022b)。

在执行功能的工作记忆方面，武术训练的改善作用更好(Ludyga et al., 2022a)。运动 - 认知双任务训练也能够显著改善工作记忆能力(Schmidt et al., 2020; Xiang et al., 2023)，运动游戏、方形步进运动都能够提高工作记忆能力(Hou et al., 2023; Liu et al., 2022)。短/中等周期、4~5 次/周的运动干预对工作记忆具有更积极的作用(Caciula et al., 2016)。

在执行功能的认知灵活性方面，急性有氧运动、运动 - 认知双任务训练、高强度间歇运动和中等强度连续运动均具有促进作用(Mou et al., 2023; Sibbick et al., 2022; Xiang et al., 2023)。短/中等周期、4~5 次/周的运动干预对认知灵活性有益(Caciula et al., 2016; Lin et al., 2022)。与封闭运动相比，参与开放运动对改善认知灵活性有积极的影响(Mohring et al., 2022)。此外，与长跑运动员相比，定向越野跑运动员的认知灵活性水平更高(Król & Gruszka, 2023)。

6. 总结与展望

回顾运动与执行功能的相关研究发现，不同的运动类型有其不同效用，针对不同问题人群的干预，需要考虑运动周期、频率和强度组合的科学干预方式。

关于运动类型：第一，中等强度的急性有氧运动以及短周期、中/高频率(周)、30~60 分钟/次、中等强度的周期性有氧运动能够有效改善执行功能；第二，高强度间歇运动对执行功能的改善作用更强且效果可持续到运动后 30 分钟；第三，运动 - 认知双任务训练和抗阻运动都能够显著提高执行功能。对于执行功能不同成分：中/高强度的有氧运动有益于抑制控制能力的发展，武术训练和运动 - 认知双任务训练对工作记忆更有益处，急性有氧运动、运动-认知双任务训练、高强度间歇运动等都能够显著提高认知灵活性。

对于干预效果而言：第一，6~13 岁是运动干预注意力缺陷多动障碍儿童的关键期。具有全身运动特征的运动、运动 - 认知双任务显著改善其执行功能，尤其是干预周期 6~8 周，持续时间 40~60 分钟的中等强度运动干预效果最佳；第二，对于阿尔兹海默症老年人，中等频率、中等强度的周期性有氧运动和抗阻运动对执行功能的改善效果更佳；第三，对于帕金森老年人，短周期、60 分钟/次的有氧运动就能改善其执行功能；第四，对抗抑郁最好的运动依次是跳舞、步行或慢跑、瑜伽和抗阻训练。

研究结果已揭示了运动影响执行功能的特征和规律，但是仍有一些问题有待进一步的解决和完善：

首先，运动强度标准需要统一。已有关于运动对执功能影响的研究多数使用心率与耗氧量来区分运

动强度(Hung et al., 2013; Labelle et al., 2013), 也有研究同时使用 Borg 主观感觉等级量表检测运动期间的强度(Hou et al., 2023), 且并未对低、中、高强度的划分进行统一, 如, Mou 等人(2023)设定 20%~40%最大心率为中等强度, 而 Subramaniapillai 等人(2016)设定 64%~76%最大心率为中等强度, 导致了一些研究得出的结论相悖。因此, 未来关于运动与执行功能的研究需要制定统一的运动强度标准, 在统一标准下进行后续研究。

第二, 科学的运动干预方案需要对运动类型、运动时间、强度、频率、周期及认知参与等变量进行综合考虑。盖笑松等人(2021)发现, 体感游戏中的运动强度和认知参与都显著促进儿童执行功能, 且认知参与的作用大于运动强度。这一结果不但验证了体感游戏对儿童执行功能的益处, 并且进一步阐明了体感游戏中的哪些特征能对儿童执行功能具有短期的和长期的效果。此外, 以往文献中很少探讨运动对患病人群执行功能改善的维持时间(Caciula et al., 2016; Hou et al., 2023), 未来不仅要执行功能进行延时后测, 还要对被试进行长期的追踪研究。因此, 后续研究需要进一步厘清运动类型、强度等变量与执行功能改善的剂量关系, 并针对不同群体制定个性化的运动干预方案。

第三, 关于运动影响执行功能的理论解释缺乏整合和创新。尽管研究者从运动类型、频率、强度和 时间等方面探讨并对研究结果进行了解释和讨论, 但具体机制尚未完全阐明且缺乏必要的整合, 也未凝练出运动促进儿童青少年执行功能效益的理论模型。史鹏等人(2023)在具身认知和运动技能学习阶段理论的基础上, 探讨了不同类型运动促进儿童青少年执行功能的原因和机制, 强调通过改进运动干预的方法策略或技能学习的学练活动进一步提高个体执行功能。未来研究需要进一步解释运动提升执行功能的路径及脑机制, 提出运动促进儿童青少年执行功能的整合性理论, 为后续运动干预实践和教学提供指导。

参考文献

- Benson, R. T., & Connolly, D. (2022). *心率训练: 基于心率监测的科学训练*(高炳宏, 译). 人民邮电出版社.
- 蔡春先, 张运亮(2020). 运动影响大脑执行功能的机制综述. *成都体育学院学报*, 45(6), 120-126.
- 陈爱国, 蒋任薇, 吉晓海, 陶宝强, 朱凤书, 颜军(2015). 8 周中等强度的花样跳绳运动对聋哑儿童执行功能的影响. *体育与科学*, 36(4), 105-109.
- 陈爱国, 梁洪英, 颜军, 殷恒婵(2016). 留守儿童执行功能的发育特征及身心运动干预研究. *中国特殊教育*, (11), 69-74.
- 陈爱国, 殷恒婵, 颜军, 杨钰(2011). 不同强度短时有氧运动对执行功能的影响. *心理学报*, 43(9), 1055-1062.
- 盖笑松, 许洁, 闫艳, 王元, 谢笑春(2021). 体感游戏促进儿童的执行功能: 运动强度和认知参与的作用. *心理学报*, 53(5), 505-514.
- 黄荣, 王磊, 李若辰(2024). 智能运动处方助推全民健身发展的逻辑、困境与路径. *山东体育学院学报*, 40(5), 39-48.
- 解超, 金成吉, 张白云(2016). 短时中等强度有氧运动对我国学龄儿童执行功能影响的 Meta 分析. *中国健康教育*, 32(11), 997-1001.
- 解超, 金成吉, 张白云, 翟伟(2017). 中等强度有氧运动对我国学龄儿童执行功能影响的 Meta 分析. *中国学校卫生*, 38(1), 65-68, 71.
- 李焕玉, 李卫东, 沈鹤军, 陈爱国, 王积福(2022). 一次性不同时长中等强度运动对超重儿童执行功能的影响. *天津体育学院学报*, 37(2), 219-225.
- 李琳, 崔洁, 项琪, 付慧(2020). 8 周不同类型的运动对女大学生执行功能的影响. *中国运动医学杂志*, 39(10), 810-816.
- 连晓莉, 于海滨(2023). 中等强度运动改善学龄儿童执行功能的 Meta 分析. *湘南学院学报*, 44(5), 82-88.
- 刘智妹, 蔡可龙, 朱丽娜, 熊轩, 董晓晓, 庞丽婷, 陈爱国(2023). 运动干预对孤独症伴有智力低下儿童执行功能及默认网络功能连接的影响. *首都体育学院学报*, 35(5), 493-502.
- 吕泽慧, 陶伟吉, 肖娇娇, 赵奕昉, 王东石(2021). 不同强度抗阻运动改善海洛因成瘾者渴求度及执行功能的剂量效应. *中国体育科技*, 57(6), 23-30.
- 潘家礼, 殷恒婵, 陈爱国, 崔蕾, 王源, 崔映斌(2016). 运动干预对学习困难、正常小学生执行功能影响的实验研究.

- 体育科学, 36(6), 84-91, 97.
- 史鹏, 辛飞, 张丁毅, 查晓璐, 王文超, 晋腾, 唐炎, 等(2023). 体育运动促进儿童青少年执行功能效益的理论探新. *武汉体育学院学报*, 57(11), 75-83.
- 宋杨, 刘阳, 杨宁, 王长在(2020). 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. *体育学刊*, 27(3), 110-115.
- 宋以玲, 任园春, 姜稳, 谢永涛, 陈梦歌(2021). 运动干预对注意缺陷多动障碍儿童执行功能的影响研究进展. *中国运动医学杂志*, 40(4), 306-311.
- 王芑, 蔡治东, 江婉婷, 赵清莹, 刘聪, 王兴(2023). 单次运动对中老年人执行功能作用的网状 meta 分析. *中国心理卫生杂志*, 37(2), 151-159.
- 王瑞元, 苏全生(2012). *运动生理学*. 人民体育出版社.
- 王晓磊, 徐盛嘉, 王金之, 马继政(2018). 不同形式运动对青年男性执行功能的影响研究. *体育科技*, 39(1), 3-5.
- 邢冰冰, 王志丹(2023). 体育运动在自闭症儿童执行功能干预中的研究进展. *青少年体育*, (2), 44-48.
- 邢淑芬, 王瑞萌, 王晓云, 杨玉冰(2016). 运动对儿童执行功能影响的研究述评. *首都体育学院学报*, 28(6), 566-571.
- 杨波(2021). ADHD 儿童执行功能的运动干预效果 Meta 分析. *中国体育科技*, 57(8), 96-102.
- 杨孟超, 金鹏, 王德新, 陈超(2022). 运动改善注意缺陷多动障碍儿童执行功能和注意力的研究进展. *体育科学*, 42(5), 77-87.
- 杨勇涛, 万敏, 万贤齐(2021). 大强度间歇运动与中等强度持续有氧运动对大学生执行功能的影响. *天津体育学院学报*, 36(6), 733-738.
- 于宏达, 杨鑫悦, 于晶(2023). 抗阻运动提升儿童青少年脑智的可行性及途径研究. *体育科技*, 44(6), 30-33.
- 张斌, 刘莹(2019). 急性有氧运动对认知表现的影响. *心理科学进展*, 27(6), 1058-1071.
- 张莹, 陈若阳, 黄璐璐(2020). 提升幼儿执行功能的小蹦床运动课程研究. *浙江师范大学学报(自然科学版)*, 43(3), 343-348.
- Aguirre-Loaiza, H., Arias, I., Bonilla, S., Ramírez, R., Ramírez-Herrera, S., Nanez, J. et al. (2022). Effect of Acute Physical Exercise on Inhibitory Control in Young Adults: High-Intensity Indoor Cycling Session. *Physiology & Behavior*, 254, Article ID: 113902. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2022.113902>
- Benzing, V., Chang, Y., & Schmidt, M. (2018). Acute Physical Activity Enhances Executive Functions in Children with ADHD. *Scientific Reports*, 8, Article No. 12382. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30067-8>
- Borg, G. (1970). *Perceived Exertion Scale or Borg Rating of Perceived Exertion (RPE)*.
- Caciula, M. C., Horvat, M., Tomporowski, P. D., & Nocera, J. (2016). The Effects of Exercise Frequency on Executive Function in Individuals with Parkinson's Disease. *Mental Health and Physical Activity*, 10, 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2016.04.001>
- Chan, Y., Jang, J., & Ho, C. (2022). Effects of Physical Exercise on Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *Biomedical Journal*, 45, 265-270. <https://doi.org/10.1016/j.bj.2021.11.011>
- Comboureu Donnezan, L., Perrot, A., Belleville, S., Bloch, F., & Kemoun, G. (2018). Effects of Simultaneous Aerobic and Cognitive Training on Executive Functions, Cardiovascular Fitness and Functional Abilities in Older Adults with Mild Cognitive Impairment. *Mental Health and Physical Activity*, 15, 78-87. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2018.06.001>
- Diamond, A. (2012). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Feter, N., Schaun, G. Z., Smith, E. C., Cassuriaga, J., Alt, R., Redig, L. et al. (2023). High-velocity Resistance Training Improves Executive Function in Mobility-Limited Older Adults. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 114, Article ID: 105081. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2023.105081>
- Guitar, N. A., Connelly, D. M., Nagamatsu, L. S., Orange, J. B., & Muir-Hunter, S. W. (2018). The Effects of Physical Exercise on Executive Function in Community-Dwelling Older Adults Living with Alzheimer's-Type Dementia: A Systematic Review. *Ageing Research Reviews*, 47, 159-167. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2018.07.009>
- Herold, F., Hamacher, D., Schega, L., & Müller, N. G. (2018). Thinking While Moving or Moving While Thinking—Concepts of Motor-Cognitive Training for Cognitive Performance Enhancement. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 10, Article 228. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2018.00228>
- Hirohama, K., Imura, T., Hori, T., Deguchi, N., Mitsutake, T., & Tanaka, R. (2024). The Effects of Nonpharmacological Sleep Hygiene on Sleep Quality in Nonelderly Individuals: A Systematic Review and Network Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *PLOS ONE*, 19, e0301616. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0301616>

- Hou, H., Chen, J., Hai, L., Wang, P., Zhang, J., & Li, H. (2023). Effects of Exergame and Bicycle Exercise Intervention on Blood Pressure and Executive Function in Older Adults with Hypertension: A Three-Group Randomized Controlled Study. *Experimental Gerontology*, 173, Article ID: 112099. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2023.112099>
- Hung, T., Tsai, C., Chen, F., Wang, C., & Chang, Y. (2013). The Immediate and Sustained Effects of Acute Exercise on Planning Aspect of Executive Function. *Psychology of Sport and Exercise*, 14, 728-736. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2013.05.004>
- Ji, Y., Ni, X., Zheng, K., Jiang, Y., Ren, C., Zhu, H. et al. (2023). Synergistic Effects of Aerobic Exercise and Transcranial Direct Current Stimulation on Executive Function and Biomarkers in Healthy Young Adults. *Brain Research Bulletin*, 202, Article ID: 110747. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2023.110747>
- Jia, L., Quan, M., Fu, Y., Zhao, T., Li, Y., Wei, C. et al. (2020). Dementia in China: Epidemiology, Clinical Management, and Research Advances. *The Lancet Neurology*, 19, 81-92. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(19\)30290-x](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(19)30290-x)
- Kim, R., Lee, T. L., Lee, H., Ko, D., Lee, J. H., Shin, H. et al. (2023). Effects of Physical Exercise Interventions on Cognitive Function in Parkinson's Disease: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Parkinsonism & Related Disorders*, 117, Article ID: 105908. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2023.105908>
- Król, W., & Gruszka, A. (2023). Is Running a State of Mind? Sports Training as a Potential Method for Developing Cognitive Flexibility. *Psychology of Sport and Exercise*, 67, Article ID: 102425. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2023.102425>
- Labelle, V., Bosquet, L., Mekary, S., & Bherer, L. (2013). Decline in Executive Control during Acute Bouts of Exercise as a Function of Exercise Intensity and Fitness Level. *Brain and Cognition*, 81, 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.10.001>
- LaCount, P. A., Hartung, C. M., Vasko, J. M., Serrano, J. W., Wright, H. A., & Smith, D. T. (2022). Acute Effects of Physical Exercise on Cognitive and Psychological Functioning in College Students with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Mental Health and Physical Activity*, 22, Article ID: 100443. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2022.100443>
- Lin, M., Ma, C., Zhu, J., Gao, J., Huang, L., Huang, J. et al. (2022). Effects of Exercise Interventions on Executive Function in Old Adults with Mild Cognitive Impairment: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Ageing Research Reviews*, 82, Article ID: 101776. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2022.101776>
- Liu, H., Wang, R., Cheng, S., Liao, K., Zhou, J., & Yang, Y. (2022). Effects of Square-Stepping Exercise on Executive Function in Individuals with Parkinson's Disease: A Randomized Controlled Pilot Study. *Geriatric Nursing*, 47, 273-279. <https://doi.org/10.1016/j.gerinurse.2022.08.004>
- Liu, X., & Wang, S. (2021). Effect of Aerobic Exercise on Executive Function in Individuals with Methamphetamine Use Disorder: Modulation by the Autonomic Nervous System. *Psychiatry Research*, 306, Article ID: 114241. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2021.114241>
- Ludyga, S., Mücke, M., Leuenberger, R., Bruggisser, F., Pühse, U., Gerber, M. et al. (2022a). Behavioral and Neurocognitive Effects of Judo Training on Working Memory Capacity in Children with ADHD: A Randomized Controlled Trial. *NeuroImage: Clinical*, 36, Article ID: 103156. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2022.103156>
- Ludyga, S., Mücke, M., Andrä, C., Gerber, M., & Pühse, U. (2022b). Neurophysiological Correlates of Interference Control and Response Inhibition Processes in Children and Adolescents Engaging in Open- and Closed-Skill Sports. *Journal of Sport and Health Science*, 11, 224-233. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2021.01.001>
- Martins, R. M. G., Duncan, M. J., Clark, C. C. T., & Eyre, E. L. J. (2021). The Acute Effects of Continuous and Intermittent Cycling on Executive Function in Children. *Acta Psychologica*, 218, Article ID: 103363. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2021.103363>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex "Frontal Lobe" Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Mohring, W., Klupp, S., Ludyga, S., & Grob, A. (2022). Executive Functions in Children Engaging in Open- And Closed-Skilled Sports. *Psychology of Sport and Exercise*, 61, Article ID: 102218. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2022.102218>
- Mou, H., Tian, S., Yuan, Y., Sun, D., & Qiu, F. (2023). Effect of Acute Exercise on Cognitive Flexibility: Role of Baseline Cognitive Performance. *Mental Health and Physical Activity*, 25, Article ID: 100522. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2023.100522>
- Noetel, M., Sanders, T., Daniel Gallardo-Gómez, Taylor, P., Cruz, B. D. P., Hoek, D. V. D., Smith, J. J., Mahoney, J., Spathis, J., & Moresi, M. (2024). Effect of Exercise for Depression: Systematic Review and Network Meta-Analysis of Randomised Controlled Trials. *The BMJ*, 384, 17. <https://doi.org/10.1136/bmj-2023-075847>
- Schmidt, M., Mavilidi, M. F., Singh, A., & Englert, C. (2020). Combining Physical and Cognitive Training to Improve Kindergarten Children's Executive Functions: A Cluster Randomized Controlled Trial. *Contemporary Educational Psychology*, 63, Article ID: 101908. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2020.101908>
- Sibbick, E., Boat, R., Sarkar, M., Groom, M., & Cooper, S. B. (2022). Acute Effects of Physical Activity on Cognitive Function

- in Children and Adolescents with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Mental Health and Physical Activity*, 23, Article ID: 100469. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2022.100469>
- Sperduti, M., Makowski, D., Arcangeli, M., Wantzen, P., Zalla, T., Lemaire, S. et al. (2017). The Distinctive Role of Executive Functions in Implicit Emotion Regulation. *Acta Psychologica*, 173, 13-20. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2016.12.001>
- Sperling, R., Henley, D., Aisen, P. S., Raman, R., Donohue, M. C., Ernststrom, K. et al. (2021). Findings of Efficacy, Safety, and Biomarker Outcomes of Atabecestat in Preclinical Alzheimer Disease: A Truncated Randomized Phase 2b/3 Clinical Trial. *JAMA Neurology*, 78, 293-301. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2020.4857>
- Subramaniapillai, M., Tremblay, L., Grassmann, V., Remington, G., & Faulkner, G. (2016). The Effect of an Acute Bout of Exercise on Executive Function among Individuals with Schizophrenia. *Psychiatry Research*, 246, 637-643. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2016.10.075>
- Sun, W., Yu, M., & Zhou, X. (2022). Effects of Physical Exercise on Attention Deficit and Other Major Symptoms in Children with ADHD: A Meta-analysis. *Psychiatry Research*, 311, Article ID: 114509. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2022.114509>
- Tsukamoto, H., Suga, T., Takenaka, S., Tanaka, D., Takeuchi, T., Hamaoka, T. et al. (2016). Greater Impact of Acute High-Intensity Interval Exercise on Post-Exercise Executive Function Compared to Moderate-Intensity Continuous Exercise. *Physiology & Behavior*, 155, 224-230. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.12.021>
- Veraksa, A., Gavrilova, M., & Lepola, J. (2022). Learning Motivation Tendencies among Preschoolers: Impact of Executive Functions and Gender Differences. *Acta Psychologica*, 228, Article ID: 103647. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2022.103647>
- Xiang, M., Li, G., Ye, J., Wu, M., Xu, R., & Hu, M. (2023). Effects of Combined Physical and Cognitive Training on Executive Function of Adolescent Shooting Athletes: A Functional Near-Infrared Spectroscopy Study. *Sports Medicine and Health Science*, 5, 220-228. <https://doi.org/10.1016/j.smhs.2023.02.004>
- Yang, Z., Wei, M., Chen, L., & Xi, J. (2023). Research Progress in the Application of Motor-Cognitive Dual-Task Training in Rehabilitation of Walking Function in Stroke Patients. *Journal of Neurorestoratology*, 11, Article ID: 100028. <https://doi.org/10.1016/j.jnrt.2022.100028>
- Yu, F., Vock, D. M., & Barclay, T. R. (2018). Executive Function: Responses to Aerobic Exercise in Alzheimer's Disease. *Geriatric Nursing*, 39, 219-224. <https://doi.org/10.1016/j.gerinurse.2017.09.005>
- Zeng, Y., Wang, J., Cai, X., Zhang, X., Zhang, J., Peng, M. et al. (2023). Effects of Physical Activity Interventions on Executive Function in Older Adults with Dementia: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Geriatric Nursing*, 51, 369-377. <https://doi.org/10.1016/j.gerinurse.2023.04.012>
- Zhu, Y., Sun, F., Chiu, M. M., & Siu, A. Y. (2021). Effects of High-Intensity Interval Exercise and Moderate-Intensity Continuous Exercise on Executive Function of Healthy Young Males. *Physiology & Behavior*, 239, Article ID: 113505. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2021.113505>