

体育运动促进儿童学业成就及其作用机制研究进展述评

蒋莹¹, 杨玉冰², 邢淑芬¹

(1.首都师范大学 心理学系, 北京 100048; 2.北京体育大学 武术学院, 北京 100084)

摘 要: 以儿童期最主要的发展任务之一——学习作为切入点, 从相关研究和实验研究两类心理学研究方法对运动促进儿童学业成就的研究进行了梳理分析。阐述了运动促进儿童学业成就的神经生理机制、认知机制和社会心理机制。体育运动可以保障儿童的身体健康, 并促使大脑释放各类神经递质, 这不仅会使他们产生愉悦感、认知更具灵活性, 还会提高他们的唤起程度及认知所需资源, 同时能更好地促使儿童积极自我概念的形成, 从而提高其心理健康水平和学业成就。在已有研究的基础上, 对我国该领域未来的研究方向进行了阐述。

关 键 词: 运动心理学; 体育运动; 学业成绩; 儿童; 神经生理; 认知机制; 述评
中图分类号: G804.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7116(2016)05-0086-07

A review of physical activities promoting children's academic achievements and its working mechanisms

JIANG Ying¹, YANG Yu-bing², XING Shu-fen¹

(1.Department of Psychology, Capital Normal University, Beijing 100048, China;
2.Wushu College, Beijing Sport University, Beijing 100084, China)

Abstract: Starting with learning – one of the most important tasks in children development in the childhood period, the authors collated and concisely analyzed researches on physical activities promoting children's academic achievements in terms of psychological research methods in the categories of correlation research and experiment research, and expatiated on the neurophysiological mechanism, cognitive mechanism and social-psychological mechanism for physical activities to promote children's academic achievements. Physical activities can ensure children's physical health, and promote the brain to release various neurotransmitters, which not only makes them produce a sense of joy, and their cognition more flexible, but also will increase their arousing degree and resources needed for cognition, and can better promote children to form a positive self concept, thus improving their psychological health level and academic achievements. Based on existing researches, the authors expatiated on future research directions in this area in China.

Key words: sports psychology; physical activity; academic achievement; children; neurophysiology; cognitive mechanism; review

众所周知, 运动能够强健肌肉和增强心肺功能, 但这仅仅是运动的基本作用, 关键的是运动可以改善人的大脑, 使其处于最佳状态, 并且能够预防或减轻一系列的认知障碍, 如焦虑、恐惧、抑郁、注意缺陷和成瘾行为等^[1]。2012 年的一项研究发现, 儿童的身心正处于快速发育的阶段, 运动能够促使他们的大脑发生改变, 从而提高学习、记忆和各种能力^[2], 可见,

运动对于儿童身心发展的促进作用更加明显。那么, 采取何种运动方案来促进儿童青少年身心的健康发展, 是十分重要和迫切的研究课题。中共十八届三中全会指出, 学校教育要“强化体育课和课外锻炼, 促进青少年身心健康, 体魄强健。”2015 年 3 月, 民革中央呼吁重视体育教育功能, 体育不仅关系学生体质健康, 作为教育的重要组成部分, 还关乎学生心智成

收稿日期: 2016-02-20

作者简介: 蒋莹(1992-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 运动与儿童发展。E-mail: xsf2986@163.com 通讯作者: 邢淑芬副教授

长、意志磨练、人格培养, 关乎规则、协同参与、公正公平等意识的养成, 影响着健全人格的形成^[9]。学习, 是儿童期最主要的发展任务之一, 本文将综合评述以儿童的学业成就作为儿童发展的结果, 探讨体育运动对儿童学业成就的促进作用, 及其内在的生理和心理机制的研究进展, 为我国体育教育的健康发展提供心理学的研究证据。

1 体育运动与儿童的学业成就

检索体育运动与儿童发展相关研究文献时, 发现以往的文献会使用不同的概念, 如体育运动(physical activity)、体育课程(physical education)、锻炼(exercise)、体育训练(physical training)、体适能(physical fitness)等, 而根据不同的分类标准, 可以将运动划分为短时运动和长时运动, 有氧运动和无氧运动^[4], 以及由非常小到最大5种不同强度的运动类型^[5]。因此, 为了全面地梳理该领域的研究, 本文会将含有上述不同概念的研究纳入其中。早在古希腊时期, 就有研究者认为体育活动与智力之间存在着一定的联系, 但直到1990年“零点体育课”(Zero Hours PE, 被称为一项最具突破性的体育教学项目)的出现, 人们才惊奇地发现心肺训练有益于儿童的阅读理解和数学能力。近些年来, 国内外涌现出许多关于运动与儿童学业成就关系的研究, 下面将按照研究范式来梳理该领域的研究成果。

1.1 相关研究

相关研究是科学理论的前提, 很多相关研究发现体育运动与学业成就之间存在着积极的相关, 大样本的研究也使得结果更具普遍性。Dwyer等^[6]对将近8000名澳大利亚的儿童(7~15岁)进行了体适能、心肺功能和一般体育活动的调查, 发现这些项目与学业成绩之间存在着较小的正相关; Coe等^[7]对1701名3、6、9年级的儿童进行了标准化的现场测验(Fitnessgram), 结果发现6、9两个年级有氧体适能高的儿童数学和社会科学的成绩更高; 而为了更好地探讨体育运动对儿童学业成就的长时效应, 有研究者开发了一系列体育项目对儿童进行了长期的追踪。如Sallis^[8]对759名儿童从幼儿园到小学5年级进行的追踪研究, 发现长期参与SPARK(Sports-Play-Activererecreation of Kids)运动项目的学生其成绩的百分位数下降比那些不参与运动项目的学生少; Pagani等^[9]关注了婴儿的动作发展, 从被试5个月开始追踪到了小学2年级, 在婴儿期进行了父母问卷、儿童动作发展以及教师问卷的调查, 发现精细动作的发展能很好地预测2年级时儿童阅读、数学能力、一般学业成绩及课堂表现, 粗大动作则没有预测力。对于这些儿童来说, 更多的体育活动可以减少肥胖症的

形成, 且有助于提升他们的精细动作的发展^[10], 能够促进学生的合作、分享和遵从规则等品质, 而学生会将这些品质带入到课堂学习之中^[11]。

1.2 实验研究

最近, 越来越多的研究者开始采用随机对照实验范式, 以便更好地揭示体育运动对儿童学业成绩的影响。Mairena等^[12]将21所幼儿园中第3年的幼儿随机分为干预组(1299人)和控制组(1108人), 采取Movi-Kids项目进行2年的干预(包括每周3次60min的体育活动, 如基本运动游戏、运动场游戏和跳舞等活动), 结果发现参与Movi-Kids项目的儿童学业成绩有显著提升, 运动场上的体育游戏不仅能提升儿童的学业成绩, 还可以控制儿童的肥胖程度。Ericsson^[13]将251名小学生分为2个实验组(152人)和一个控制组(99人), 为实验组儿童增设一门体育课, 每周实行两节额外的体育课教学, 3年干预后发现实验组的儿童数学、阅读、写作的分数显著高于控制组, 同样的优势还存在于注意上, 但随着时间推移注意的增强消失; Duncan和Johnson^[14]将小学生分为中、高运动剂量组和休息组, 运动组进行20min的脚踏车测力运动, 发现无论多大的运动强度都能提升儿童的拼读能力, 其中中等强度的运动对阅读能力的提升更明显。

但令人遗憾的是, 并非所有的实证研究都得出了一致的结论, 有的实证研究发现, 体育运动并不能提高儿童的学业成就。如Lambournea等^[15]通过对687名2年级和3年级学生的体育活动进行实验分析, 发现体育活动和有氧适能与学生的韦氏成就测验(WIAT-III)结果不存在显著性相关。Jaakkola等^[16]年采用自我报告的方法对中学生施测也得到了类似结果。因此从上述研究中发现: (1)不同学业成就的测量工具导致结果的不同。如大部分没有结果的研究测量的大多是儿童智力^[15], 而发现积极影响的研究测量的是儿童的阅读、数学能力^[13-14]。(2)大多体育运动对儿童学业成绩产生积极影响的研究都在训练儿童的体适能而非一般性体育活动, 如2004年美国加州教育部(CDE)的调研结果表明, 5、7、9三个年级儿童的体能标准测试(有氧运动能力、身体成分、力量、灵活性)分数越好, 语言和数学能力越强^[17], 且Hippel等^[18]对前人研究进行总结, 发现体适能更好的学生力量和灵活性更强。(3)提高学业成绩的关键在于如何提高体适能的阈值, 使儿童在运动时处于“运动状态”。在SPARK项目中, Sallis^[8]认为除非花费两倍的时间在体育课中, 让儿童处于一种更积极的活动状态, 才能让他们在学习上表现得更好。(4)在体育运动对儿童的影响上存在一些中介或调节变量使结果发生变化。

Pagani 等^[9]正是控制了儿童因素(如年纪、性别、兄弟姐妹的数量、父母给儿童读书的次数等),以及家庭因素(如父母的社会经济地位、智力商数和母亲抑郁程度等)才得到了体育运动对儿童学业成就的积极作用,同样 Mairena 等^[12]除了对儿童进行体育干预外,还对父母、教师和教学环境也进行了一定的干预,如增加父母和教师在项目中的卷入程度及改善孩子的生活方式等。Santiago 等^[19]的研究进一步发现,运动对儿童学业成就的影响受到性别的调节,女生花费更多的时间参与运动,她们的数学和阅读成绩就会更好,但运动的这种优势并不存在于男生身上。可见,体育运动对学业成就的促进作用尚需进一步研究加以验证。

2 体育运动促进儿童学业成就的机制

体育运动促进儿童学业成就的潜在机制是什么?

运动生理学家和运动心理学家从不同的学科角度进行了探讨。纵观以往不同领域的研究,运动促进学业成就的机制包括神经生理机制、认知机制和社会心理机制。这 3 种机制之间并非相互排斥的,例如社会心理机制中包含着生理机制^[20]。

2.1 神经生理机制

1) 大脑结构和功能的改变。

运动改善认知功能的脑可塑性理论指出,体育运动可以通过系统水平、细胞水平、分子水平等多维途径影响脑的可塑性,而儿童认知的改善可以说是运动所致相关脑区可塑性发展变化的结果^[21]。如 Chaddock 等^[22-23]做了一系列的研究,结果表明大脑的背侧纹状体、海马区都易受到运动的影响而发生改变,从而提升认知控制能力和记忆力,且体适能高的儿童具有较大的背侧纹状体,健康儿童的海马区比不够健康的儿童大了 12%。体育运动不仅能够改变儿童大脑的结构,还能改变大脑的功能,具体表现为相关脑区激活水平和网络联结的变化。Davis^[24]发现,每周 5 次持续 15 周的运动干预方案能让超重儿童双侧前额叶的激活水平提高,而双侧后顶叶的激活水平降低,从而提高儿童的认知控制能力。Chaddock 等^[25]使用 fMRI 研究发现有氧适能高的儿童,其认知控制能力更高,在完成任务时激活了前额叶和顶叶的脑区。陈爱国等^[26]发现,让儿童进行一次 30 min 中等强度的有氧运动,可以使儿童双侧后扣带回、双侧顶叶中央后回和左侧背外侧前额叶的 ReHo 提高,即运动可以通过增加儿童静息状态下脑功能局部的一致性,改善脑的可塑性来提升执行能力。

2) 神经递质。

大脑由 1 000 亿个不同类型的神经元组成,而这些神经元之间通过传递各类化学物质来传递信息,其

中 80%左右的信号都是由谷氨酸盐(glutamate)和 γ -氨基丁酸(GABA)两种神经递质传递的,前者刺激神经冲动并主导一连串信号的传导,后者则抑制冲动^[1]。而由于神经元的活跃运动,它们之间的联系会更紧密、吸引力更强,使得谷氨酸盐在学习过程中成为一个不可或缺的因素,能让神经元同步连接。人在运动时能增加体内血清素、去甲肾上腺素和多巴胺的水平,这些神经递质在传递思维和情感的过程中,起着非常重要的作用。除了上述的神经递质,还有一类叫做脑源性神经营养因子(brain-derived neurotrophic factor, BDNF),它是一种大脑内合成的蛋白质,主要负责建立和保养神经细胞回路,是大脑的“优质营养肥料”,存在于海马区,与记忆和学习密切相关^[1]。BDNF 是思维、情感和运动之间至关重要的生物学纽带,不仅可以使得新细胞更快地生成新分支、建立更强的联系,还可以与突触上的受体结合释放电子流,增大电压后迅速扩大信号强度。根据神经营养因子(BDNF)的假设,个体学习和认知能力的提高源于神经系统内各参数的变化(如毛细血管的增长和密度增大、突触的联结等)。动物研究表明,有氧运动训练能增加源于大脑内部的神经营养因子以及其他的生长因子,而这些因子又能够增加毛细血管在大脑皮层上的供给量、新神经和突触,从而使个体在学习和执行任务表现上更加出色^[27]。也就是说,运动不仅激励着我们的身体获得动力,同样也激励着大脑,而在这些神经递质的共同作用下,运动能为学习做出更好的准备,并促进干细胞的分化,为形象地展现出身体与大脑的联结,提升记忆和学习能力。

2.2 认知机制——执行功能假设

近年来,有研究者提出了“执行功能假设”,用以解释运动提升儿童学业成就的潜在机制。该假说认为,有氧运动的影响作用并不是对个体低级水平的知觉,或者自动化的认知过程产生的,而是影响着个体更高级、更复杂的认知能力,即执行功能,使人类表现出适应性、目标导向的行为。执行功能是负责组织和控制目标导向行为的认知过程的总称,包括复杂的、非自动化的过程,协调着个体在目标导向行为中的低级认知过程^[28]。位于前额叶皮层的神经回路对于执行功能是十分重要的,而运动时恰好能激活这个脑区,使得个体在与执行功能相关的任务上取得更好成绩^[20]。同样,以儿童为对象的研究也得出了一致的结论,即短时有氧运动对儿童的执行功能有着积极的影响。如有研究者对小学生每天的日常体育活动时间进行研究,发现运动量大的儿童比那些久坐不动的儿童的执行功能发展更好,这可能是由于爱运动的儿童会有更

多机会控制他们的活动与行为^[29]; 体育运动不仅对正常儿童的执行功能有着促进作用, 对执行功能异常的儿童也具有改善作用。如通过对患有注意力缺陷的儿童进行运动干预, 发现他们在后测的执行功能任务(伦敦塔、数字广度任务)的表现上得到了显著改善^[30]。同样, Davis^[24]对超重儿童的研究也得出类似的结论。

执行功能需要一个较长时间的发展时间表, 在青少年时期或成年早期的某个时间点发展成熟, 主要包括抑制控制、认知灵活性和工作记忆3个子成分, 对儿童的学业成就有着非常重要的影响^[31]。例如, 在抑制控制中, 需要个体先筛选出不相关的环境信息, 推翻优势反应并停止正在进行的反应, 这些能力则是我们注意和动作控制的核心能力^[32]; 认知灵活性则是指在快速变换的情景下重构知识信息的能力^[33]; 工作记忆是个体应对学习和认知挑战时短暂储存并有效管理信息的能力^[34]。因此, 执行功能与学习之间的关系非常密切, 如果小学生具有良好的执行功能, 不仅可以帮助他们有效地计划、管理、实施多项任务, 还能增强他们对社会环境的适应能力, 约束自身的行为, 遵守社会规范, 并促进其学业进步^[35], 如有研究发现执行功能好的儿童在数学、英语、写作和阅读上表现更加优秀^[36], 还有一些干预研究同样发现增加体育运动对儿童的执行功能和工作记忆有显著的积极影响^[37], 其中Diamond等^[38]还对4~12岁的儿童进行了各类运动项目的比较, 发现武术、瑜伽和有氧运动均能有效地促进儿童执行功能, 这些项目都可以融入学校的体育课程之中, 以更好地促进学生的学业成就。新近的一项研究直接考察了执行功能的中介效应, 结果发现执行功能的确在儿童的体适能与学业成就之间发挥着中介作用^[39]。

2.3 社会心理机制——自我效能感理论

班杜拉^[40]认为, 行为原因的中心机制是自我效能感, 它影响着个体的情绪、思维和行为等过程, 并由此提出了可应用于不同领域的自我效能理论。运动心理学研究发现, 运动对个体的自我概念和自我效能感具有积极的影响效应, 可以为那些少有成功经历的儿童提供重建积极的自我概念的机会。例如, 实证研究发现, 许多体育运动的方式均与自我效能之间存在着密切联系, 体育活动与自我效能感间存在着最强、最稳定的关联^[41]。吕晓昌等^[42], 对5780名中小學生进行为期12周中等强度运动训练(篮球、健绳操、轮滑), 发现经过训练后他们的身心健康有显著提升, 体型适中的学生一般性格开朗, 也就有着更高的自我效能感, 成绩也更加优秀, 因为他们总是自信地认为自己能够胜任该做的事。Petty等^[43]针对207名7~11岁超重儿童

每天的运动剂量进行分组研究, 运动组儿童可在每天放学之后随意选择跳绳、跑步、篮球、足球等运动项目并在专门的体育场地进行锻炼, 保持运动时心率达到150 b/min以上(低剂量组为20 min运动和20 min安静活动, 如绘画、纸牌游戏等, 高剂量组为40 min运动), 整个项目持续13周, 发现抑郁症状的表现从控制组到低运动剂量组再到高剂量组显著线性下降, 而自我价值感则作为中介变量起作用, 即通过运动能让儿童提升自我价值感从而减轻抑郁症的表现。最近的一项元分析表明, 体育运动对儿童的自我效能有着积极的影响($d=0.16$), 会让儿童对自己体型更加满意, 得到他人更多的称赞, 从而认为自己更具价值和吸引力^[44]。有关学习领域的研究中, 自我效能感的水平常常可以预测学生的学业成就水平^[45]。因而, 可以通过运动来提升儿童的自我效能感, 从而使其在学业成绩上有更加优秀的表现。

3 未来的研究

国民素质是国家综合国力的重要体现, 也是国家经济社会发展的基础。体育运动作为一种提高国民素质的有效手段, 其重要性亟待普及。目前, 国内外大量的实证研究均已证明, 中等强度的有氧运动, 尤其是需要认知参与的中等强度的有氧运动有利于儿童的认知功能的发展和学业成就的提升^[4]。

体育运动对儿童心理发展的影响已经取得了一些一致性的结论, 但该领域依然存在一些亟待解决的关键问题:

首先, 需要深入考察运动与儿童心理发展的“剂量效应”。目前剂量效应的研究主要包括运动项目、运动强度、持续时间和运动频率, 如探讨不同运动类型对儿童学业成绩的影响。一些探索性的证据表明, 并不是所有类型的运动都可以同等程度地改善儿童的认知发展。近期的一些研究发现, 有氧跑步能增加儿童的认知灵活性和创造力, 同样还能显著提升学习成绩, 那些接受身体素质训练的儿童工作记忆的提升更快, 而参与瑜伽的儿童注意力和感知觉会得到显著提升, 进行跆拳道训练的儿童则在抑制控制上发展更好^[38]。运动心理学家还在继续探索运动的类型与儿童认知发展之间的关系, 但这个领域还充满着未知和挑战, 尤其需要对我国传统的运动项目, 对学生认知发展和学业成就的影响进行深入探讨。此外, 如果运动与其他教育干预方法联合使用, 会更加有效地促进儿童大脑的发展, 存在着1+1>2的效果^[46]。因此, 未来研究的焦点问题是, 结合我国不同年龄阶段儿童的身体素质, 开发适合我国儿童的体育运动方案。

其次,考察人群特征在当中所起的调节作用。就运动本身而言,它对儿童心理发展的影响可能是积极的,也可能是消极的,其效果主要是由运动方案的各构成要素和儿童自身的个体差异所决定。也就是说,如果某一运动项目对儿童身心发展是无效的,则需要思考到底是这个运动项目本身无效,还是由于参与者自身的原因所致。Ellis^[47]发现,智商处于低水平的儿童能够从运动干预中获益最大;大量体育运动的研究都发现,女生通过运动提升学业成绩的效果更加明显^[17, 19];而从年龄上来说,执行功能的多个方面遵循着不同的发展轨迹,婴儿出生 15 个月左右就能完成复杂一些的工作记忆(如更新和操纵信息),简单反应抑制大约发生在 1 岁末期,而认知灵活性是最为复杂的执行功能成分,建立在前两者之上,约 2.5 岁儿童才能在不同维度间进行转换^[48],因此运动对执行功能的影响会随着年龄的不同而不同。而现在,研究者们还没有对社会心理或生物因素进行系统的操控,未来的研究需要将这些潜在的心理社会因素对观测指标的影响分离开,或许可以形成一个运动对认知影响的模型,用于阐释文献中的分歧,并鉴别潜藏于运动和认知之间可能的机制。

再次,加强对患有认知或行为障碍的儿童的运动干预和治疗。例如,对于超重的儿童来说,运动理所当然是其最佳的干预方式。人类已经习惯于规律性的体育运动,肥胖儿童的身体不适、学习困难实际上是因为他们缺乏运动而非自身体重过重,目前大量研究都表明运动可以提升超重儿童的执行功能和学业成就^[24]。同样,国外研究发现体育运动还能改善 ADHD 儿童的多动症状^[49],减轻或预防儿童一系列的认知或行为障碍,如焦虑、恐惧、抑郁、成瘾行为等^[1]。运动具有低成本、易开展和无副作用等明显的优点,未来研究可考虑如何采用运动干预的方式改善或预防儿童的认知或行为障碍。

最后,在研究设计方面需采用纵向设计,以考察运动对儿童发展的长时效应。关于运动与儿童发展的研究设计有两种,一种是横断研究考察短期有氧运动对儿童执行功能的即时效应,另一种是纵向研究考察长期的有氧训练对儿童执行功能发展的长时效应。我国关于运动与儿童发展的研究,多采用横断研究探讨运动的即时效应,鲜有研究像芝加哥内珀维尔的“零点体育课”,未来研究可以采用追踪范式探讨运动对儿童发展的长时效应。此外,运动与儿童发展这一研究领域在未来必须考虑多元化的交叉学科的研究,主要包括发展心理学、运动机能学和认知神经科学等学科。未来研究中的多学科取向,可以让我们清晰地考究有氧运动如何在几个不同水平上引起有机体的变化,包

括大脑结构和功能的变化,以及这些变化又如何影响着个体的认知和行为,让人类对运动的效应产生一个更广泛、更深入的理解。

参考文献:

- [1] 约翰·瑞迪. 运动改造大脑[M]. 杭州: 浙江人民出版社, 2013.
- [2] HOPKINS M E, DAVIS F C, VANTIEGHEM M R, et al. Differential effects of acute and regular physical exercise on cognition and affect[J]. *Neuroscience*, 2012, 215: 59-68.
- [3] 民革中央: 重视体育教育功能 促进青少年全面发展[EB/OL]. (2015-03-27)[2015-11-30]. <http://www.rmzxb.com.cn/c/2015-03-27/472622.shtml>.
- [4] 陈薇. 不同项目运动员执行功能的比较研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2012.
- [5] GARBER C E, BLISSMER B, DESCHENES M R, et al. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2011, 43(7): 1334-1359.
- [6] DWYER T, SALLIS J F, BLIZZARD L, et al. Relation of academic performance to physical activity and fitness in children[J]. *Pediatric Exercise Science*, 2001, 13(3): 225-237.
- [7] COE D P, PETERSON T, BLAIR C, et al. Physical fitness, academic achievement, and socioeconomic status in school-aged youth[J]. *Journal of School Health*, 2013, 83(7): 500-507.
- [8] SALLIS J F, MCKENZIE T L, KOLODY B, et al. Effects of health-related physical education on academic achievement: Project SPARK[J]. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 1999, 70(2): 127-134.
- [9] PAGANI L S, FITZPATRICK C, ARCHAMBAULT I, et al. School readiness and later achievement: a French Canadian replication and extension[J]. *Developmental Psychology*, 2010, 46(5): 984-994.
- [10] TIMMONS B W, LEBLANC A G, CARSON V, et al. Systematic review of physical activity and health in the early years (aged 0-4 years)[J]. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 2012, 37(4): 773-792.
- [11] TARAS H. Physical activity and student performance at school [J]. *Journal of School Health*, 2005, 75(6): 214-218.

- [12] SÁNCHEZ-LÓPEZ M, PARDO-GUIJARRO M J, DEL CAMPO D G, et al. Physical activity intervention (Movi-Kids) on improving academic achievement and adiposity in preschoolers with or without attention deficit hyperactivity disorder: study protocol for a randomized controlled trial[J]. *Trials*, 2015, 16(1): 456.
- [13] ERICSSON I. Motor skills, attention and academic achievements. An intervention study in school years 1–3 [J]. *British Educational Research Journal*, 2008, 34(3): 301-313.
- [14] DUNCAN M, JOHNSON A. The effect of differing intensities of acute cycling on preadolescent academic achievement[J]. *European Journal of Sport Science*, 2014, 14(3): 279-286.
- [15] LAMBOURNE K, HANSEN D, SZABO A, et al. Indirect and direct relations between aerobic fitness, physical activity, and academic achievement in elementary school students[J]. *Mental Health and Physical Activity*, 2013, 6(3): 165-171.
- [16] JAAKKOLA T, HILLMAN C, KALAJA S, et al. The associations among fundamental movement skills, self-reported physical activity and academic performance during junior high school in Finland[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2015, 33(16): 1719-1729.
- [17] GRISSOM J. A study of the relationship between physical fitness and academic achievement in California using 2004 test results[Z]. California Department of Education, 2005.
- [18] VON HIPPEL P T, BRADBURY W K. The effects of school physical education grants on obesity, fitness, and academic achievement[J]. *Preventive Medicine*, 2015, 78: 44-51.
- [19] SANTIAGO J A, ROPER E A, DISCH J G, et al. The relationship among aerobic capacity, body composition, and academic achievement of fourth and fifth grade Hispanic students[J]. *Physical Educator*, 2013, 70(1): 89-105.
- [20] MCMORRIS T, TOMPOROWSKI P D, Audiffren M. Exercise and cognitive function[Z]. Wiley Online Library, 2009.
- [21] VOSS M W, VIVAR C, KRAMER A F, et al. Bridging animal and human models of exercise-induced brain plasticity[J]. *Trends in Cognitive Sciences*, 2013, 17(10): 525-544.
- [22] CHADDOCK L, ERICKSON K I, PRAKASH R S, et al. A neuroimaging investigation of the association between aerobic fitness, hippocampal volume, and memory performance in preadolescent children[J]. *Brain Research*, 2010, 1358: 172-183.
- [23] CHADDOCK L, HILLMAN C H, PONTIFEX M B, et al. Childhood aerobic fitness predicts cognitive performance one year later[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2012, 30(5): 421-430.
- [24] DAVIS C L, TOMPOROWSKI P D, MCDOWELL J E, et al. Exercise improves executive function and achievement and alters brain activation in overweight children: a randomized, controlled trial[J]. *Health Psychology*, 2011, 30(1): 91-98.
- [25] CHADDOCK L, ERICKSON K I, PRAKASH R S, et al. A functional MRI investigation of the association between childhood aerobic fitness and neurocognitive control[J]. *Biological Psychology*, 2012, 89(1): 260-268.
- [26] 陈爱国, 朱丽娜, 王鑫, 等. 短时中等强度有氧运动对儿童脑的可塑性影响: 来自脑功能局部一致性的证据[J]. *体育科学*, 2015, 35(8): 24-29.
- [27] COTMAN C W, BERCHTOLD N C. Physical activity and the maintenance of cognition: learning from animal models[J]. *Alzheimer's & Dementia*, 2007, 3(2): S30-S37.
- [28] BEST J R. Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise[J]. *Developmental Review*, 2010, 30(4): 331-351.
- [29] VAN DER NIET A G, SMITH J, SCHERDER E J, et al. Associations between daily physical activity and executive functioning in primary school-aged children[J]. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2015, 18(6): 673-677.
- [30] ELLEMBERG D, ST-LOUIS-DESCHÊNES M. The effect of acute physical exercise on cognitive function during development[J]. *Psychology of Sport and Exercise*, 2010, 11(2): 122-126.
- [31] ALLOWAY T P, ALLOWAY R G. Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment[J]. *Journal of Experimental Child Psychology*, 2010, 106(1): 20-29.
- [32] BARKLEY R A. Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: constructing a unifying theory of ADHD[J]. *Psychological Bulletin*, 1997, 121(1): 65-94.

- [33] DAVIDSON M C, AMSO D, ANDERSON L C, et al. Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching[J]. *Neuropsychologia*, 2006, 44(11): 2037-2078.
- [34] BADDELEY A. Working memory[J]. *Science*, 1992, 255(5044): 556-559.
- [35] 刘文利, 赖珍珍. 体育运动如何促进儿童大脑发育[J]. *人民教育*, 2015(5): 61-64.
- [36] FITZPATRICK C, MCKINNON R D, BLAIR C B, et al. Do preschool executive function skills explain the school readiness gap between advantaged and disadvantaged children?[J]. *Learning and Instruction*, 2014, 30: 25-31.
- [37] KAMIJO K, PONTIFEX M B, O'LEARY K C, et al. The effects of an afterschool physical activity program on working memory in preadolescent children[J]. *Developmental Science*, 2011, 14(5): 1046-1058.
- [38] DIAMOND A, LEE K. Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old[J]. *Science*, 2011, 333(6045): 959-964.
- [39] VAN DER NIET A G, HARTMAN E, SMITH J, et al. Modeling relationships between physical fitness, executive functioning, and academic achievement in primary school children[J]. *Psychology of Sport and Exercise*, 2014, 15(4): 319-325.
- [40] BANDURA A. Health promotion by social cognitive means[J]. *Health Education & Behavior*, 2004, 31(2): 143-164.
- [41] HIGGINS T J, MIDDLETON K R, WINNER L, et al. Physical activity interventions differentially affect exercise task and barrier self-efficacy: a meta-analysis [J]. *Health Psychology*, 2014, 33(8): 891-903.
- [42] 吕晓昌, 杨剑, 韩建伟. 中小學生身心健康现状与运动干预的研究[J]. *体育学刊*, 2013, 20(4): 106-110.
- [43] PETTY K H, DAVIS C L, TKACZ J, et al. Exercise effects on depressive symptoms and self-worth in overweight children: a randomized controlled trial[J]. *Journal of Pediatric Psychology*, 2009, 34(9): 929-939.
- [44] ASHFORD S, EDMUNDS J, FRENCH D P. What is the best way to change self-efficacy to promote lifestyle and recreational physical activity? A systematic review with meta-analysis[J]. *British Journal of Health Psychology*, 2010, 15(2): 265-288.
- [45] PHAN H P. Self-Efficacy, Reflection, and Achievement: A short-term longitudinal examination[J]. *The Journal of Educational Research*, 2014, 107(2): 90-102.
- [46] 陈爱国, 殷恒婵, 颜军, 等. 不同强度短时有氧运动对执行功能的影响[J]. *心理学报*, 2011, 43(9): 1055-1062.
- [47] ELLIS N R. A behavioral research strategy in mental retardation: Defense and critique[J]. *American Journal of Mental Deficiency*, 1969.
- [48] GARON N, BRYSON S E, SMITH I M. Executive function in preschoolers: a review using an integrative framework[J]. *Psychological Bulletin*, 2008, 134(1): 31-60.
- [49] 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.

