



体育运动与儿童青少年脑智提升:证据与理论

陈爱国^{1,2}, 熊 轩^{1,2}, 朱丽娜^{1,2}, 董晓晓^{1,2}, 王 苇^{2,3}

(1. 扬州大学 体育学院, 江苏 扬州 225127;

2. 扬州大学哲学社会科学重点研究基地“体育运动与脑科学研究所”, 江苏 扬州 225127;

3. 扬州大学附属医院, 江苏 扬州 225127)

摘要:近年来,体育运动与儿童青少年脑智提升关系日益受到关注,但其研究证据缺乏整合,理论亟需创新。基于此,研究首先以脑和智两方面为主轴进行证据回顾,首次提供了多学科、多层面、较为完整的证据链;其次,在梳理该领域已有理论演进的基础上,基于融合与创新的思路,阐明体育运动通过影响运动负荷、动作技能、情景互动和心理状态提升儿童青少年脑智的4条主要路径,构建了体育运动提升儿童青少年脑智的多路径模型;最后,基于已有研究进展和我国当前的社会需求,指出未来研究的3个主要方向:1)重新认识体育运动的作用;2)探索提升儿童青少年脑智的“体卫融合”新模式;3)开展提升儿童青少年脑智的体育教育实践研究。

关键词:体育运动;儿童青少年;脑智;证据;理论

中图分类号:G804.8

文献标识码:A

脑智(brain and mind)是脑与智的统称(贺永等, 2018; Steck et al., 2016),脑智提升是国际组织、各国政府普遍关注的重要课题,是世界各国争夺人类潜能开发的制高点。我国有2亿多儿童青少年,研究其脑智发育规律及提升,不仅是促进和保障儿童青少年健康的重要前提,也是遵循规律办教育的重要依据,对国家的可持续发展具有深远影响,能够满足儿童青少年健康成长和基础教育的重大国家战略需求。“儿童青少年脑智发育项目”是“中国脑计划”中一个不可或缺的重要内容,开发中国儿童青少年脑智潜能成为研究重点(朱丽, 2017)。

近年来,不断增加的研究证据发现,体育运动能够促进儿童青少年脑的可塑性(El-Sayes et al., 2019)、记忆(Charles et al., 2019)、执行功能(陈爱国, 2016)等的发展,提示体育运动是提升儿童青少年脑智的有效手段。加之,体育运动具有低成本、易开展、副作用小、可以整合到教育或治疗中等显著优势,体育运动与儿童青少年脑智提升的关系研究日益受到广泛的关注和探索。但迄今为止,该领域相关的研究证据缺乏整合,理论亟需创新。基于此,本文综述体育运动提升儿童青少年脑智的证据和理论,并指出未来研究方向。

1 体育运动与儿童青少年脑智提升:研究证据

脑智的变化主要涉及脑(内在物质)和智(与认知相

关的外显行为)两方面的改变。脑是智的基础,智是脑的外显,脑和智的关系是辩证统一的(图1)。鉴于脑智改变主要涉及脑与智两方面,本部分即以这两个方面为主轴,回顾体育运动与儿童青少年脑智提升的研究证据。

1.1 体育运动改造儿童青少年脑

脑的改变涉及脑内在物质生理活动变化,主要包括分子、细胞、系统3个层面的变化。其中,系统层面包括结构形态的改变和功能网络的重构两种类型。

1.1.1 分子层面的证据

脑源性神经营养因子(brain derived neurotrophic factor, BDNF)、胰岛素样生长因子-1(insulin like growth factor 1, IGF-1)、神经生长因子(nerve growth factor, NGF)、成纤维细胞生长因子-2(fibroblast growth factor 2, FGF-2)和血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)等分子对神经元的生长发育、突触的形成和血管的生成具有促进作用。研究发现,体育运动可通过改变脑内或外周的BDNF(Griffin et al., 2011)、IGF-1(Stein et al., 2018)、NGF(Hong et al., 2015)、FGF-2(Gómez-Pinilla et al., 1997)

收稿日期:2020-12-21; 修订日期:2021-10-26

基金项目:国家自然科学基金项目(31771243);江苏高校“青蓝工程”优秀教学团队资助项目。

第一作者简介:陈爱国(1978-),男,教授,博士,主要研究方向为体育运动与儿童青少年脑智提升,E-mail: agchen@yzu.edu.cn。

和 VEGF (Fabel et al., 2003) 浓度水平, 进而改善脑, 而单

一分子作用和分子间相互作用是其两种主要机制。

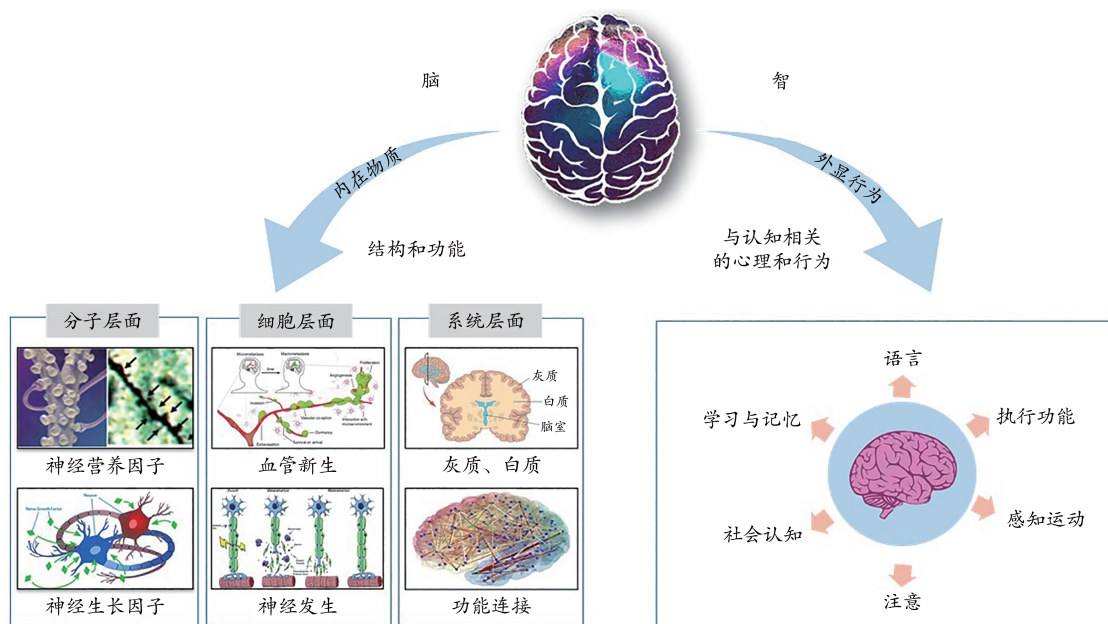


图1 脑智的概念示意图

Figure 1. The Concept Schematic of Brain and Mind

在单一分子作用研究中发现, 体育运动分别通过引起 BDNF、IGF-1、VEGF 和 FGF-2 水平的升高引起脑的改变。其中, BDNF 和 IGF-1 在众多分子研究中最受关注, 被认为是运动引起脑改变的关键分子, 如, 自愿跑轮运动能够提高 25 天龄大鼠海马中的 BDNF 水平 (Uysal et al., 2014), 跑步运动可以使海马中 IGF-1 水平上升 (Bayod et al., 2011)。而在以人为被试的研究中, 体育运动是否能够引起 BDNF、IGF-1 水平的变化还存在争议, 可能与不同的运动剂量 (Knaepen et al., 2010) 和运动类型 (Lippi et al., 2020) 有关; 另一方面, 在分子间相互作用的研究中, 运动对脑产生的影响可能不是来源于单一的分子, 而是由于众多的分子协同作用, 产生互补的功能效应。其中, 研究较多的集中于 BDNF 和 IGF-1 两者的相互作用。在 BDNF 和 IGF-1 的关系中, 运动可以引起 BDNF 水平的增加, 而 BDNF 水平的改变则取决于 IGF-1 在中枢神经系统中的摄取 (Chen et al., 2007), 当对 IGF-1 的信号进行阻断时也会降低运动对 BDNF 的增加 (Cotman et al., 2007; Ding et al., 2006)。因此, 虽然 BDNF、IGF-1 分别为介导运动引起脑改变的两条途径, 但它们之间的关系可能是相互依存的。

以上研究表明, BDNF、IGF-1 和 VEGF 等分子的单一作用和分子间相互作用是体育运动改造脑的重要机制, 但体育运动引起分子水平变化的剂量效应, 以及体育运动的类型与不同分子的关系仍需深入探究。

1.1.2 细胞层面的证据

细胞能够展现出一系列的可塑性变化, 但受限于技术

原因, 目前还无法在人类身上实现无创的收集细胞水平证据。因此, 该领域主要运用动物模型开展实验。其优势在于不仅可以精确测量细胞水平指标, 还可以严格控制外部环境和混淆变量, 使实验更具科学性。动物实验研究表明, 运动可以通过改变细胞水平的可塑性影响大脑 (Bechara et al., 2013; Hopkins et al., 2010)。

血管新生 (angiogenesis) 是指新血管的形成和发育, 包括内皮细胞增殖、迁移、细胞间黏附、排成直线及形成开放的腔样结构等。研究发现, 运动能够引起微血管密度增加, 表明运动可以引起血管新生 (Ding et al., 2006; Lista et al., 2010)。神经发生 (neurogenesis) 是指神经干细胞或神经祖细胞在诱导因素下产生新神经元。成年中枢神经系统仍存在神经发生, 特别是海马齿状回部位终身保持生成新神经元的能力。而运动可增强海马齿状回部神经干细胞或神经祖细胞的增殖、迁移、存活和分化, 促进神经发生。如, 7 周的运动干预可以增加小鼠海马齿状回的细胞数量, 促使海马区的神经发生 (Hwang et al., 2016)。胶质发生 (gliogenesis) 是指神经祖细胞在神经元产生后产生胶质细胞, 对神经元起到支持、营养和协助代谢的重要作用。研究发现, 4 周跑台运动可以促使应激模型大鼠海马区胶质细胞生成 (戈含笑等, 2017)。突触发生 (synaptogenesis) 是指神经元之间的突触形成, 具体表现为突触结构的可塑性和突触传递的可塑性。研究发现, 运动可以通过改变突触结构参数、突触数量以及突触线粒体结构等促进突触结构的可塑性 (任珊珊等, 2010; Dietrich et al., 2008)。

以上研究表明, 体育运动可以引起血管新生、神经发生、胶质发生和突触发生等细胞层面的可塑性变化。但由于技术限制, 目前对细胞层面的研究仍很难在人体上无创开展, 已有的研究结果大多为动物模型研究, 且集中于成年期动物, 未来研究可以更多以幼年期动物为对象, 探索体育运动对脑细胞层面的影响。

1.1.3 系统层面的证据

随着脑成像技术的快速发展, 研究者能够在不侵入和伤害人体的情况下, 观测脑的结构(白质、灰质)和功能活动(脑激活模式和脑网络连接)特征。借助神经电生理技术[如脑电图法(electroencephalography, EEG)、事件相关电位(event-related potential, ERP)等]、功能近红外共谱技术(functional near-infrared spectrophotometry, fNIRS)和多模态磁共振成像技术(multi-modal magnetic resonance imaging, MRI)的研究成果表明, 体育运动能够改变脑结构形态和功能活动的可塑性。

灰质, 是人脑神经元胞体主要聚集的结构, 负责信息的处理, 是脑的核心物质结构。结构磁共振成像能够清晰地揭示体育运动对灰质皮层体积和皮层厚度等脑皮层发育形态的影响。如, 长期的运动干预使得聋哑儿童前额叶、扣带回、顶叶和小脑灰质体积减少(陈爱国等, 2018), 肥胖儿童的全脑皮层和小脑灰质体积增加(Augustijn et al., 2019), 脑肿瘤术后康复儿童的顶叶、海马旁回的灰质皮层厚度增加(Szulc-Lerch et al., 2018), 表明运动干预能够导致儿童青少年脑灰质皮层的结构可塑性改变。

白质, 是由被髓鞘包覆的神经元轴突组成, 连接着不同的大脑皮层区域, 负责彼此间信息的传递、共享和协调(Barnea-Goraly et al., 2005)。弥散张量成像可评估体育运动对脑白质纤维完整性的影响。长期规律的运动干预改善了肥胖(Krafft et al., 2014c)、超重(Schaeffer et al., 2014)、聋哑儿童(Xiong et al., 2018)的白质发育完整性和认知相关行为表现。长期的运动技能训练也会导致白质纤维结构完整性的可塑性变化, 如, 钢琴家、篮球运动员和手球运动员的注意系统及皮层下系统均存在白质纤维结构差异(任占兵等, 2019)。这些研究都证实了体育运动对儿童青少年白质结构的有益影响。

脑激活模式, 是指当人脑对外界刺激进行响应和加工时, 形成的基于任务的、稳定的脑功能活动模式。基于ERP、fNIRS和MRI技术能够实时探测人脑对外界刺激的响应和加工过程。目前, 研究发现, 短时运动会使儿童青少年完成工作记忆(Chen et al., 2016; Li et al., 2014)、认知控制(Drollette et al., 2014)、认知灵活性(李琳等, 2014)、食物-线索(Masterson et al., 2018)等特定任务相关的脑激活模式和特定时间窗内的ERP成分产生积极影响(Bidzan-Bluma et al., 2018; Chu et al., 2017), 完成认知

任务的行为表现也得到提升。长期规律的运动干预研究也发现, 正常(Chaddock-Heyman et al., 2013)、肥胖(Davis et al., 2011; Krafft et al., 2014b)、聋哑(陈爱国, 2016)等儿童在完成特定认知任务时, 脑激活模式会发生可塑性改变, 且伴随着行为表现的改善。以上研究提示, 体育运动对脑激活模式的可塑性有积极影响。

脑网络, 人脑的认知活动是基于多个脑区交互与作用而形成的复杂脑网络完成的, 即使不执行任何任务, 这些网络也可以被观察到, 主要包括结构网络和功能网络两类(涂桑等, 2013)。基于EEG和MRI的分析可以考察脑网络的可塑性变化。已有研究证实, 运动干预能够改善儿童青少年的执行控制网络、突出网络、默认网络、认知网络和运动网络等功能网络(朱丽娜, 2017; Amad et al., 2017; Krafft et al., 2014a), 以及脑电图电位活动(Huang et al., 2017, 2018)和灰质、白质结构网络的连接(Chaddock-Heyman et al., 2018; Pi et al., 2019), 且随着时间的推移, 表现出更多的空间活动的精细化和专门化。以上研究提示, 体育运动对儿童青少年脑网络具有积极的协同与优化作用。

综上所述, 不断增加的随机对照研究均揭示了体育运动在改变儿童青少年脑结构形态和功能活动可塑性中的因果效应, 长期运动和短时运动均能够促进脑的可塑性变化, 且在正常及特殊儿童群体中都显示出特异性作用。然而, 也有研究提出, 运动对脑智发展的积极作用可能在儿童和老年人群中较为突出, 在青少年或年轻人群中, 运动的促进作用还存在一定争议(Hillman et al., 2008), 这可能是横断面的研究设计缺陷、样本量较小以及运动干预的剂量设置偏差等原因导致的(Pontifex et al., 2018; Ruotsalainen et al., 2019; Stroth et al., 2009)。总体来看, 研究结论仍然支持运动对儿童青少年脑的功能和结构的积极效应, 但体育运动对脑结构网络和功能网络的交互影响和耦合关系还有待深入的研究, 如白质和灰质发育是否存在相互依赖和协同的交互关系, 体育运动如何对脑结构发育形态同步关系产生影响等。

1.2 体育运动提升儿童青少年智

智的改变主要涉及与认知相关的外显行为表现变化(如注意、执行功能、学习与记忆、社会认知、语言等)。目前, 执行功能、记忆和学业成就是该领域最受关注的方面。

执行功能, 是指在完成复杂的认知任务时, 对各种基本认知过程进行协调和控制的高级认知过程。根本目的是产生具有目的性、协调有序的行为(Funahashi, 2001)。体育运动对儿童青少年执行功能的影响研究, 主要集中在剂量效应的探索和提升儿童青少年执行功能的运动方案研发。剂量效应的研究指出, 30 min以上(陈爱国, 2016)、中等强度(陈爱国等, 2011; Ludyga et al., 2016)、有氧(颜军等, 2014)、合作类型(陈爱国, 2016)的运动,

对改善儿童青少年的执行功能效果更佳。提升儿童青少年执行功能的运动干预方案研究则证实,针对性开发的体育运动干预方案不仅能够促进普通儿童的执行功能(Ishihara et al., 2018),还能够改善肥胖(Crova et al., 2014)、注意缺陷多动障碍(Kim, 2018)、自闭症(Pan et al., 2017)、学习困难(潘家礼等, 2016; 殷恒婵等, 2017)、聋哑(Xiong et al., 2018)、留守(陈爱国, 2016)等特殊儿童的执行功能;发育障碍儿童的干预效果比正常儿童更好(潘家礼等, 2016; 殷恒婵等, 2017)。目前,随着证据的积累,针对不同儿童执行功能发育特征开发精准的运动干预方案的理论与实践研究逐渐成为热点。

记忆,是过去经验在头脑中的保持和重现,基本过程由识记、保持和重现(包括回忆和再认)3个环节组成,是人类认知加工的核心能力。研究表明,体育运动有助于儿童青少年的识别、保持和再认等记忆环节,对儿童青少年的工作记忆(Chang et al., 2016; Koutsandréou et al., 2016)、视觉空间记忆(Geladé et al., 2018)和关联记忆(Monti et al., 2012)等具有积极的促进作用;且这些观点已在学习困难、注意缺陷多动障碍、自闭症等认知障碍类儿童青少年的康复治疗中获得验证。此外,运动能够提高信息存储能力(Etnier et al., 2014; Ludyga et al., 2018),有助于学龄前儿童习得动作技能后的动作记忆巩固(Lundbye-

Jensen et al., 2017)。由上可知,体育运动对儿童青少年的记忆有促进作用。

学业成就,是儿童青少年在学校教育中的主要成果,也是学生发展的重要目标。评价学业成就的两个核心内容是学习行为表现和学业成绩。研究成果表明,短时或者长期的体育运动可以改善和提高学生的注意力、动机和自控力等学习行为,降低其攻击性行为,以及减少学生的课堂不当行为(Jarraya et al., 2019; Kibbe et al., 2011; Pontifex et al., 2013)。就学业成绩而言,增加儿童青少年的体育运动时间,不仅没有妨碍他们的学业成绩,还有助于其阅读、数学等课程成绩的提升(Donnely et al., 2016; Watson et al., 2017)。由上可知,体育运动可促进学生学业成就,然而这一观点仍然受到许多质疑,未来需要提供更多可靠和有力的科学证据,辅以宣传和科普,扭转错误的认识。

2 体育运动与儿童青少年脑智提升:理论演进

2.1 不同视角下的体育运动与脑智提升理论

随着体育运动提升脑智研究成果的累积,对于作用机制的探讨必然进入研究者的认知,构建体育运动与儿童青少年脑智发展关系的理论成为一种必然需要。不同领域的研究者分别提出了用于解释体育运动与脑智提升的假说或理论(表1)。

表1 不同视角下的运动与脑智提升的代表性理论

Table 1 Representative Theories of Physical Exercise and Development of Brain and Mind in Different Perspectives

视角	代表性理论	具体内容
生理学理论	脑可塑假说	运动通过影响脑结构和功能活动的变化,改变脑的可塑性(Charles et al., 2019; El-Sayes et al., 2019)。
	唤醒水平假说	运动提高了个体的唤醒水平,使其新陈代谢水平提高、相关脑区的血流量增加,进而提高个体的认知功能(Alfini et al., 2016; Pontifex et al., 2018)。
	体适能假说	体适能水平较高的儿童有更大体积的海马和基底核、更大的白质整合、更有效的脑活动模式以及更好的认知行为(Talukdar et al., 2018)和学业表现(Chang et al., 2014; Krafft et al., 2014c)。
动作技能理论	动作经验假说	动作带来经验,而经验促进脑智发展。动作经验作用于脑智主要有两种途径:1)动作本身经验,复杂的动作(协调性的、多肢体参与的、认知参与丰富的动作等)激发了相关神经回路,需要认知功能的参与;大量的练习使个体积累了丰富的脑智经验,而经验促进脑智发展;2)动作实践经验。当动作经历新问题、新挑战时,个体在协调和组合原有动作,形成新的更复杂、更灵活、更有效动作的基础上,也会使脑智实现突破与优化(董奇等, 2004; Diamond, 2015; Tomporowski et al., 2019)。
	迁移理论	动作训练内容包含丰富的认知操作(如,追踪移动的物体、协调身体的移动、在脑中记住运动的规则等),训练过程即反复练习和运用认知的过程,相关经验在训练中得以强化,进而使儿童的认知能力得到发展(Pellis et al., 2007)。
心理学理论	兴趣、态度假说	态度和积极性与参与锻炼的水平 and 坚持性关系密切,经常锻炼、体力活动多、体适能高和运动表现良好的儿童青少年学业成绩好于不经常参加锻炼的儿童青少年(Mcauley et al., 2000; Teixeira et al., 2012)。
	交互作用理论	压力、情绪、自我效能感和控制感等能够影响脑智,运动可以通过改善这些心理状态提升个体脑智(Cho et al., 2017; Stillman et al., 2016)。
社会学理论	丰富环境假说	丰富的环境(主要包括环境刺激的新颖性和复杂性)刺激可以改变脑结构和功能,改善认知功能(Berardi et al., 2009; Nithianantharajah et al., 2006)。
	社会责任观点	参与的体育活动或游戏,特别是集体类的活动,有特定的活动规则,需要与其他个体合作互动,抑制自身的不合理行为,承担一定的角色和责任,进而达成团队目标,这一过程影响个体认知发展(Tomporowski et al., 2015)。

以上单一视角理论为该领域研究提供了初步的理论支持,为研究者更好地认识和深入探索运动与儿童青少年脑智关系提供了基础。但这些理论也存在以下局限性:1)内容单一,大多仅涉及单一视角和单维度的证据,缺乏综合,交叉融合研究不够;2)需要不明、目标不清。好的理论应该能够满足基础研究和应用实践的需要,然而现有的理论大多是研究者的实践经验总结,是研究者被动适应研究成果的产物,对基础研究的指导价值不足。

2.2 体育运动提升儿童青少年脑智的多路径模型

近年来,随着不同视角理论的演进以及多学科研究证据的积累和融合,体育运动与儿童青少年脑智提升关系轮廓逐渐清晰,形成一个目标明确的、综合的、多路径的理论成为当下必然趋势。本研究对该领域公认且具有代表性的9种单一假说或理论进行分析与归纳,整合为生理学、动作技能、心理学和社会学4个视角(表1),并融合当下最新研究成果,发现该领域已基本上具备构建一个揭示体育运动与儿童青少年脑智关系框架的必要条件。基于此,我们提出一个初步的“体育运动提升儿童青少年脑智的多路径模型”(图2),尝试全面揭示体育运动与儿童青少年脑智提升的关系。该模型认为,体育运动对儿童青少年脑智的作用是多路径的、综合性的,各路径间可能是彼此独立的,更有可能是共同作用的。体育运动提升儿童青少年脑智涉及运动负荷、动作技能、情景互动、心理状态4条主要路径,下面具体阐述每条路径的作用机制。

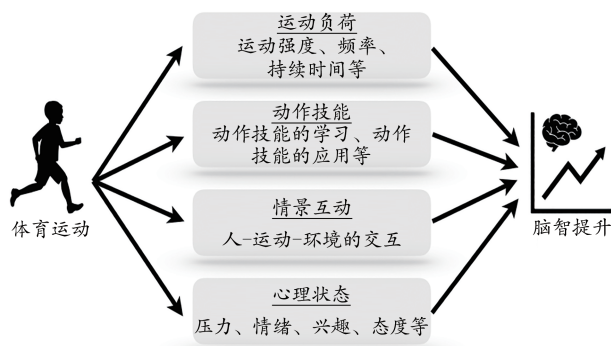


图2 体育运动提升儿童青少年脑智的多路径模型

Figure 2. Multipath Model of Exercise to Enhance the Brain and Mind in Children and Adolescents

2.2.1 优化运动负荷

运动负荷是运动干预的核心内容,包括运动强度、频率、持续时间等要素。运动干预时需根据实际情况制定最适宜的运动负荷方案,从而最有效地促进儿童青少年脑智提升。这种影响表现为从分子、细胞到系统等多层面的变化。运动负荷各要素影响BDNF、IGF-1和VEGF等分子的变化,这些分子层面的变化进而促进了血管新生、神经发生、胶质发生和突触发生等细胞层面的变化,

而这些细胞层面的变化可能介导了灰质体积、白质体积、神经活动或是脑血流量的可塑性变化,最终这些系统层面的脑可塑性变化与认知功能的改善相关(陈爱国等, 2011; El-Sayes et al., 2019)。

2.2.2 提高动作技能

动作技能作为体育运动的核心要素,动作技能的学习与实践与儿童青少年脑智的提升息息相关。首先,动作技能的学习,特别是复杂的动作技能(协调性的、多肢体参与的、认知参与丰富的动作等),涉及皮层-皮层下的协同作用,激发了广泛的脑神经网络,形成特定的连通回路,即所谓的“动作—认知—情感”功能环路(董奇等, 2004; Lakhani et al., 2016),成为动作与心理活动相联系的物质基础。可以认为,大量的动作练习过程即是脑智发展的过程(Tomporowski et al., 2019; Van Der Fels et al., 2015)。其次,动作技能的实践应用,当动作技能经历新环境、新问题、新挑战时,个体在协调和组合原有动作,形成新的更复杂、更灵活、更有效动作的基础上,也会使脑智实现突破与优化(陈爱国, 2016; Diamond, 2015)。

2.2.3 增加情景互动

人、运动和运动环境(包括物理环境和人文环境)的互动影响儿童青少年脑智提升。丰富的运动环境刺激可以改变大脑神经结构,改善认知功能。一个新颖和复杂的运动环境是发展脑智的理想场所(Berardi et al., 2009; Nithianantharajah et al., 2006)。强调情景互动的社会责任观点指出,儿童青少年参与的体育活动或游戏,特别是集体类的活动,如足球、篮球、跳绳等,有特定的活动规则,需要与其他个体合作互动,抑制自身的不合理行为,承担一定的角色和责任,进而达成团队目标。这一过程促进了其脑智的发展(陈爱国等, 2016; Tomporowski et al., 2015)。

2.2.4 提升心理状态

心理状态可以影响儿童青少年脑智的发展。个体孤独、消极的情绪体验和压力都会损害其脑智(Frick et al., 2013; Plotsky et al., 2000),而运动干预可以通过缓解压力、增加社会交往、体验更多的积极情绪,进而提高儿童青少年脑智(崔荣荣, 2019)。另外,参与体育锻炼的兴趣、态度会间接影响脑智的发展(Krafft et al., 2014c; Stillman et al., 2016)。尽管参与体育锻炼的态度和积极性不会直接影响儿童青少年脑智发育,但态度和积极性与参与水平和坚持性关系密切,经常锻炼、体力活动多、体适能高和运动表现良好的儿童青少年学业成绩好于不经常参加锻炼的儿童青少年(Strömmer et al., 2020; Talukdar et al., 2018)。

该模型在真实研究证据的基础上,较为完整地刻画了体育运动提升儿童青少年脑智的4条主要路径,科学性较强。整个模型具有融贯性,不仅具有内在的逻辑一致性,

还与其他已被接受的理论相符合,是对已有理论的融合和创新。另外,该模型克服了已有理论多关注作用机制,而不注重指导实践的缺陷,不仅能够解释基础问题,还能够为实践应用提供依据,已在开发体育教育活动、运动干预方案提升儿童青少年脑智方面显示出强大的生命力(陈爱国,2016;陈爱国等,2016)。

3 研究展望

迄今为止,丰富的研究证据和理论表明,体育运动是提升儿童青少年脑智的有效手段。我们期望通过本文增加研究者和大众对体育运动与儿童青少年脑智提升关系的认识,辅以积极、科学的实践应用,进而形成以体育运动提升儿童青少年脑智的新局面。但两者关系仍有广阔的空间需探索,根据已有研究结果以及我国当前的社会需求,以下3个方面值得特别关注。

3.1 重新认识体育运动的作用

体育运动不是简单的蹦蹦跳跳,而是以身、心、脑和智联合运用为基础的活动,是一种有设计的,采用运动活动及其相关经验的,从体力、脑力、心智上使个体充分发展的方式。坚持体育运动的结果不是“四肢发达,头脑简单”,而是“四肢发达,头脑聪慧”(陈爱国等,2013a);不是“运动妨碍学业成绩”,而是“多运动促进学业成绩”(陈爱国等,2013b);不仅是“身体强壮”,还“享受乐趣、增强体质、健全人格、锤炼意志”(新华社,2018)。

3.2 探索提升儿童青少年脑智健康的“体卫融合”新模式

正如前文提到,采用体育运动手段提升儿童青少年脑智,有其巨大优势。针对性开发的运动干预方案不仅能够促进正常儿童青少年的脑智发展,也能够改善或提升学习困难、聋哑、肥胖、自闭症、注意缺陷多动障碍等异常儿童青少年的脑智健康水平。采用体育运动手段提升儿童青少年脑智,不仅是学术研究前沿,也满足国家社会重大需求。《“健康中国2030”规划纲要》和《全民健身计划(2021—2025年)》两个重量级文件先后出台,标志着全民健身与健康中国全面融合,“体卫融合”成为建设健康中国的重要途径。因此,构建提升儿童青少年脑智健康的“体卫融合”新模式势在必行,亟需开展相关知识与理论体系、运动处方库建设、应用与服务体系等研究,为提升儿童青少年脑智健康,推进健康中国建设提供重要措施和依托。

3.3 开展提升儿童青少年脑智的体育教育实践研究

教育实质上是基于个体脑的发展规律,采取科学有效手段保护和促进其脑智发展(周加仙,2013;Fischer et al.,2010)。在这样的背景下,以儿童青少年脑智提升为核心问题,系统研究如何以科学的体育教育方法和手段促进儿童青少年脑智的提升,无疑是当下我国体育教育理论与实践创新发展中最重要、最需要解答的前沿问题

之一。当下亟需开展建构和实证“体育教育”与“儿童青少年脑智提升”有机结合、相得益彰的体育教育理论、关键技术与实践应用模式等研究,以期为促进我国亿万儿童青少年身心健康发展,为提高基础教育质量,建设教育强国做出重要贡献。

参考文献:

- 陈爱国,2016.教育神经科学视野中的体育教育创新[M].北京:教育科学出版社:138-177.
- 陈爱国,熊轩,朱丽娜,等,2018.运动干预对聋哑儿童执行功能及脑灰质体积的影响[J].体育科学,38(1):42-48.
- 陈爱国,颜军,殷恒婵,2016.提高儿童执行功能的体育活动方案开发与实践[M].湖南:湖南人民出版社:156-199.
- 陈爱国,颜军,赵峰,2013a.体育与国民素质提升:来自脑科学的新证据[J].华东师范大学学报,31(2):63-68.
- 陈爱国,殷恒婵,颜军,2013b.让孩子赢在体育课:脑科学研究对体育的启示[J].全球教育展望,42(2):93-99.
- 陈爱国,殷恒婵,颜军,等,2011.不同强度短时有氧运动对执行功能的影响[J].心理学报,43(9):1055-1062.
- 崔荣荣,2019.心理社会应激的运动干预机制:基于情绪与认知关系的研究证据[J].中国运动医学杂志,38(6):531-538.
- 董奇,陶沙,2004.动作与心理发展[M].北京:北京师范大学出版社:85-106.
- 戈含笑,魏宏文,张有志,等,2017.有氧运动对慢性应激大鼠海马区神经可塑性的影响[J].北京体育大学学报,40(5):39-45.
- 贺永,陶沙,廖旭红,2018.理解儿童青少年脑发育,推进对脑智发育和提升的科学研究[J].教育家,(28):23-25.
- 李琳,袁荆晶,季泰,等,2014.短时中等强度有氧运动对女大学生转换功能的fMRI研究[J].北京体育大学学报,37(12):56-60,97.
- 潘家礼,殷恒婵,陈爱国,等,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[J].体育科学,36(6):84-91,97.
- 任姗姗,贺晓娟,云少君,等,2010.运动对脑老化小鼠学习记忆能力及突触可塑性的影响[J].卫生研究,39(2):239-241.
- 任占兵,胡琳琳,张远超,等,2019.运动技能专家脑塑性研究进展:来自磁共振成像的证据[J].中国体育科技,55(2):3-17.
- 涂桑,赵光,曹晓君,等,2013.脑网络研究述评[J].心理学进展,3(6):277-283.
- 新华社,2018.习近平出席全国教育大会并发表重要讲话[R/OL].[2021-08-17].http://www.gov.cn/xinwen/2018-09/10/content_5320835.htm.
- 颜军,王源,陈爱国,等,2014.短时中等强度不同类型运动对小学生执行功能的影响[J].体育与科学,35(6):94-100.
- 殷恒婵,潘家礼,刘敏,等,2017.运动干预对学习困难、普通小学生执行功能影响的时程效益比较[J].中国特殊教育,(6):55-62.
- 周加仙,2013.教育神经科学:创建心智、脑与教育的联结[J].华东师范大学学报(教育科学版),31(2):42-48.
- 朱丽,2017.儿童青少年脑智研究,争夺人类潜能开发制高点[EB/OL].[2021-08-17].http://tech.gmw.cn/2017-09/28/content_26364834.htm.
- 朱丽娜,2017.有氧运动干预对聋哑儿童执行功能及其脑网络连接的影响[D].扬州:扬州大学.
- ALFINI A J, WEISS L R, LEITNER B P, et al., 2016. Hippocampal and cerebral blood flow after exercise cessation in master athletes [J]. Front Aging Neurosci, 8: 1-9.

- AMAD A, SEIDMAN J, DRAPER S B, et al., 2017. Motor learning induces plasticity in the resting brain-drumming up a connection[J]. *Cereb Cortex*, 27(3):2010-2021.
- AUGUSTIJN M J C M, D'HONDT E, LEEMANS A, et al., 2019. Weight loss, behavioral change, and structural neuroplasticity in children with obesity through a multidisciplinary treatment program [J]. *Hum Brain Mapp*, 40(1):137-150.
- BARNEA-GORALY N, MENON V, ECKERT M, et al., 2005. White matter development during childhood and adolescence: A cross-sectional diffusion tensor imaging study[J]. *Cereb Cortex*, 15(12):1848-1854.
- BAYOD S, DEL VALLE J, CANUDAS A M, et al., 2011. Long-term treadmill exercise induces neuroprotective molecular changes in rat brain[J]. *J Appl Physiol*, 111(5):1380-1390.
- BECHARA R G, KELLY Á M, 2013. Exercise improves object recognition memory and induces BDNF expression and cell proliferation in cognitively enriched rats[J]. *Behav Brain Res*, 245:96-100.
- BERARDI N, MAFFEI L, 2009. Enrich the environment to empower the brain[J]. *Trends Neurosci*, 32(4):233-239.
- BIDZAN-BLUMA I, LIPOWSKA M, 2018. Physical activity and cognitive functioning of children: A systematic review[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 15(4):1-13.
- CHADDOCK-HEYMAN L, ERICKSON K I, KIENZLER C, et al., 2018. Physical activity increases white matter microstructure in children[J]. *Front Neurosci*, 12:1-11.
- CHADDOCK-HEYMAN L, ERICKSON K I, VOSS M W, et al., 2013. The effects of physical activity on functional MRI activation associated with cognitive control in children: A randomized controlled intervention[J]. *Front Human Neurosci*, 7:1-13.
- CHANG Y K, CHI L, ETNIER J L, et al., 2014. Effect of acute aerobic exercise on cognitive performance: Role of cardiovascular fitness [J]. *Psychol Sport Exerc*, 15(5):464-470.
- CHARLES H H, NICOLE E L, TATSUYA T S, 2019. A review of acute physical activity effects on brain and cognition in children[J]. *Am Coll Sports Med*, 4(17):132-136.
- CHEN A G, ZHU L N, YAN J, et al., 2016. Neural basis of working memory enhancement after acute aerobic exercise: fMRI study of preadolescent children[J]. *Front Psychol*, 7:1-9.
- CHEN M J, RUSSO-NEUSTADT A A, 2007. Running exercise-and antidepressant-induced increases in growth and survival-associated signaling molecules are IGF-dependent[J]. *Growth Factors*, 25(2):118-131.
- CHO S Y, KIM Y I, ROH H T, 2017. Effects of taekwondo intervention on cognitive function and academic self-efficacy in children[J]. *J Phys Ther Sci*, 29(4):713-715.
- CHU C H, KRAMER A F, SONG T F, et al., 2017. Acute exercise and neurocognitive development in preadolescents and young adults: An ERP study[J]. *Neural Plast*, doi: 10.1155/2017/2631909.
- COTMAN C W, BERCHTOLD N C, CHRISTIE L, 2007. Exercise builds brain health: Key roles of growth factor cascades and inflammation[J]. *Trends Neurosci*, 30(9):464-472.
- CROVA C, STRUZZOLINO I, MARCHETTI R, et al., 2014. Cognitively challenging physical activity benefits executive function in overweight children[J]. *J Sport Sci*, 32(3):201-211.
- DAVIS C L, TOMPOROWSKI P D, MCDOWELL J E, et al., 2011. Exercise improves executive function and achievement and alters brain activation in overweight children: A randomized, controlled trial[J]. *Health Psychol*, 30(1):91-98.
- DIAMOND A, 2015. Effects of physical exercise on executive functions: Going beyond simply moving to moving with thought[J]. *Ann Sports Med Res*, 2(1):1-6.
- DIETRICH M O, ANDREWS Z B, HORVATH T L, 2008. Exercise-induced synaptogenesis in the hippocampus is dependent on ucp2-regulated mitochondrial adaptation[J]. *J Neurosci*, 28(42):10766-10771.
- DING Q, VAYNMAN S, AKHAVAN M, et al., 2006. Insulin-like growth factor I interfaces with brain-derived neurotrophic factor-mediated synaptic plasticity to modulate aspects of exercise-induced cognitive function[J]. *Neuroscience*, 140(3):823-833.
- DONNELLY J E, HILLMAN C H, CASTELLI D, et al., 2016. Physical activity, fitness, cognitive function, and academic achievement in children: A systematic review [J]. *Med Sci Sports Exer*, 48(6):1197-1222.
- DROLLETTE E S, SCUDDER M R, RAINE L B, et al., 2014. Acute exercise facilitates brain function and cognition in children who need it most: An ERP study of individual differences in inhibitory control capacity[J]. *Dev Cogn Neurosci*, 7:53-64.
- EL-SAYES J, HARASYM D, TURCO C V, et al., 2019. Exercise-induced neuroplasticity: A mechanistic model and prospects for promoting plasticity[J]. *Neuroscientist*, 25(1):65-85.
- ETNIER J, LABBAN J D, PIEPMEIER A, et al., 2014. Effects of an acute bout of exercise on memory in 6th grade children[J]. *Pediatr Exerc Sci*, 26(3):250-258.
- FABEL K, FABEL K, TAM B, et al., 2003. VEGF is necessary for exercise-induced adult hippocampal neurogenesis[J]. *Euro J Neurosci*, 18(10):2803-2812.
- FISCHER K W, GOSWAMI U, GEAKE J, 2010. The future of educational neuroscience[J]. *Mind Brain Educ*, 4(2):68-80.
- FRICK A, HOWNER K, FISCHER H, et al., 2013. Cortical thickness alterations in social anxiety disorder[J]. *Neurosci Lett*, 536(1):52-55.
- FUNAHASHI S, 2001. Neuronal mechanisms of executive control by the prefrontal cortex[J]. *Neurosci Res*, 39(2):147-165.
- GELADÉ K, JANSSEN T W P, BINK M, et al., 2018. A 6-month follow-up of an RCT on behavioral and neurocognitive effects of neurofeedback in children with ADHD[J]. *Euro Child Adoles Psy*, 27(5):581-593.
- GÓMEZ-PINILLA F, DAO L, SO V, 1997. Physical exercise induces FGF-2 and its mRNA in the hippocampus[J]. *Brain Res*, 764(1-2):1-8.
- GRIFFIN É W, MULLALLY S, FOLEY C, et al., 2011. Aerobic exercise improves hippocampal function and increases BDNF in the serum of young adult males[J]. *Physiol Behav*, 104(5):934-941.
- HILLMAN C H, ERICKSON K I, KRAMER A F, 2008. Be smart, exercise your heart: Exercise effects on brain and cognition[J]. *Nature Rev Neurosci*, 9(1):58-65.
- HONG Y P, LEE H C, KIM H T, 2015. Treadmill exercise after social isolation increases the levels of NGF, BDNF, and synapsin I to induce survival of neurons in the hippocampus, and improves depression-like behavior [J]. *J Exerc Nutrition Biochem*, 19(1):

- 11-18.
- HOPKINS M E, BUCCI D J, 2010. BDNF expression in perirhinal cortex is associated with exercise-induced improvement in object recognition memory[J]. *Neurobiol Learn Mem*, 94(2):278-284.
- HSIEH SS, CHANG Y K, HUNG T M, 2016. The effects of acute resistance exercise on young and older males' working memory[J]. *Psychol Sport Exerc*, 22(12):286-293.
- HUANG C J, HUANG C W, HUNG C L, et al., 2018. Effects of acute exercise on resting EEG in children with attention-deficit/hyperactivity disorder[J]. *Child Psychiatry Hum Dev*, 49(6):993-1002.
- HUANG C J, HUANG C W, TSAI Y J, et al., 2017. A preliminary examination of aerobic exercise effects on resting EEG in children with ADHD[J]. *J Atten Disord*, 21(11):898-903.
- HWANG D S, KWAK H B, KWON O Y, et al., 2016. Treadmill exercise improves memory function depending on circadian rhythm changes in mice[J]. *Int Neurourol J*, 20(S2):S141-S149.
- ISHIHARA T, MIZUNO M, 2018. Effects of tennis play on executive function in 6-11-year-old children: A 12-month longitudinal study [J]. *Euro J Sport Sci*, 18(5):741-752.
- JARRAYA S, WAGNER M, JARRAYA M, et al., 2019. 12 weeks of kindergarten-based yoga practice increases visual attention, visual-motor precision and decreases behavior of inattention and hyperactivity in 5-year-old children[J]. *Front Psychol*, 10:1-11.
- KIBBE D L, HACKETT J, HURLEY M, et al., 2011. Ten Years of TAKE 10! ®: Integrating physical activity with academic concepts in elementary school classrooms[J]. *Prev Med*, 52(S1):S43-S50.
- KIM J K, 2018. The effects of a home-based sensorimotor program on executive and motor functions in children with ADHD: A case series [J]. *J Phys Ther Sci*, 30(8):1138-1140.
- KNAEPEN K, GOEKINT M, HEYMAN EM, et al., 2010. Neuroplasticity-exercise-induced response of peripheral brain-derived neurotrophic factor: A systematic review of experimental studies in human subjects[J]. *Sports Med*, 40(9):765-801.
- KOUTSANDRÉOU F, WEGNER M, NIEMANN C, et al., 2016. Effects of motor versus cardiovascular exercise training on children's working memory[J]. *Med Sci Sports Exer*, 48(6):1144-1152.
- KRAFFT C E, PIERCE J E, SCHWARZ N F, et al., 2014a. An eight month randomized controlled exercise intervention alters resting state synchrony in overweight children[J]. *Neuroscience*, 256:445-455.
- KRAFFT C E, SCHWARZ N F, CHI L, et al., 2014b. An 8-month randomized controlled exercise trial alters brain activation during cognitive tasks in overweight children[J]. *Obesity*, 22(1):232-242.
- KRAFFT C E, SCHAEFFER D J, SCHWARZ N F, et al., 2014c. Improved frontoparietal white matter integrity in overweight children is associated with attendance at an after-school exercise program[J]. *Dev Neurosci*, 36(1):1-9.
- LAKHANI B, BORICH M R, JACKSON J N, et al., 2016. Motor skill acquisition promotes human brain myelin plasticity[J]. *Neural Plastic*, doi: 10.1155/2016/7526135.
- LI L, MEN W W, CHANG Y K, et al., 2014. Acute aerobic exercise increases cortical activity during working memory: A functional MRI study in female college students[J]. *PLoS One*, 9(6):e99222.
- LIPPI G, MATTIUZZI C, SANCHIS-GOMAR F, 2020. Updated overview on interplay between physical exercise, neurotrophins, and cognitive function in humans[J]. *J Sport Health Sci*, 9(1):74-81.
- LISTA I, SORRENTINO G, 2010. Biological mechanisms of physical activity in preventing cognitive decline[J]. *Cell Mol Neurobiol*, 30(4):493-503.
- LUDYGA S, GERBER M, BRAND S, et al., 2016. Acute effects of moderate aerobic exercise on specific aspects of executive function in different age and fitness groups: A meta-analysis[J]. *Psychophysiology*, 53(11):1611-1626.
- LUDYGA S, GERBER M, KAMIJO K, et al., 2018. The effects of a school-based exercise program on neurophysiological indices of working memory operations in adolescents[J]. *J Sci Med Sport*, 21(8):833-838.
- LUNDBYE-JENSEN J, SKRIVER K, NIELSEN J B, et al., 2017. Acute exercise improves motor memory consolidation in preadolescent children[J]. *Front Human Neurosci*, 11:1-10.
- MASTERSON T D, KIRWAN C B, DAVIDSON L E, et al., 2018. Brain reactivity to visual food stimuli after moderate-intensity exercise in children[J]. *Brain Imag Behav*, 12(4):1032-1041.
- MCAULEY E, BLISSMER B, 2000. Self-efficacy determinants and consequences of physical activity[J]. *Exerc Sport Sci Rev*, 28(2):85-88.
- MONTI J M, HILLMAN C H, COHEN N J, 2012. Aerobic fitness enhances relational memory in preadolescent children: The FITKids randomized control trial[J]. *Hippocampus*, 22(9):1876-1882.
- NITHIANANTHARAJAH J, HANNAN A J, 2006. Enriched environments, experience-dependent plasticity and disorders of the nervous system[J]. *Nature Rev Neurosci*, 7(9):697-709.
- PAN C Y, CHU C H, TSAI C L, et al., 2017. The impacts of physical activity intervention on physical and cognitive outcomes in children with autism spectrum disorder[J]. *Autism*, 21(2):190-202.
- PELLIS S M, PELLIS V C, 2007. Rough-and-tumble play and the development of the social brain[J]. *Curr Dir Psychol Sci*, 16(2):95-98.
- PI Y L, WU X H, WANG F J, et al., 2019. Motor skill learning induces brain network plasticity: A diffusion-tensor imaging study[J]. *PLoS One*, 14(2):e0210015.
- PLOTSKY, PAUL M, NEMEROFF, et al., 2000. Effects of early adverse experiences on brain structure and function: Clinical implications[J]. *Biol Psychiatry*, 48(8):778-790.
- PONTIFEX M B, GWIZDALA K L, WENG T B, et al., 2018. Cerebral blood flow is not modulated following acute aerobic exercise in preadolescent children[J]. *Int J Psychophysiol*, 134:44-51.
- PONTIFEX M B, SALIBA B J, RAINE L B, et al., 2013. Exercise improves behavioral, neurocognitive, and scholastic performance in children with attention-deficit/hyperactivity disorder[J]. *J pediatric*, 162(3):543-551.
- RUOTSALAINEN I, RENVALL V, PARVIAINEN T, et al., 2019. Aerobic fitness, but not physical activity, is associated with grey matter volume in adolescents[J]. *Behav Brain Res*, 362:122-130.
- SCHAEFFER D J, KRAFFT C E, SCHWARZ N F, et al., 2014. An 8-month exercise intervention alters frontotemporal white matter integrity in overweight children[J]. *Psychophysiology*, 51(8):728-733.

- STECK A, STECK B, 2016. Brain and Mind[M]. Switzerland: Springer International Publishing: vii-x.
- STEIN A M, SILVA T M V, COELHO F G D M, et al., 2018. Physical exercise, IGF-1 and cognition A systematic review of experimental studies in the elderly[J]. Dement Neuropsychol, 12(2):114-122.
- STILLMAN C M, COHEN J, LEHMAN M E, et al., 2016. Mediators of physical activity on neurocognitive function: A review at multiple levels of analysis[J]. Front Human Neurosci, 10:1-17.
- STRÖMMER J M, DAVIS S W, HENSON R N, et al., 2020. Physical activity predicts population-level age-related differences in frontal white matter[J]. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 75(2):236-243.
- STROTH S, KUBESCH S, KIEFER M, et al., 2009. Physical fitness, but not acute exercise modulates event-related potential indices for executive control in healthy adolescents[J]. Brain Res, 1269: 114-124.
- SZULC-LERCH K U, TIMMONS B W, BOUFFET E, et al., 2018. Repairing the brain with physical exercise: Cortical thickness and brain volume increases in long-term pediatric brain tumor survivors in response to a structured exercise intervention[J]. Neuroimage Clin, 18:972-985.
- TALUKDAR T, NIKOLAIDIS A, ZWILLING C E, et al., 2018. Aerobic fitness explains individual differences in the functional brain connectome of healthy young adults[J]. Cereb Cortex, 28(10): 3600-3609.
- TEIXEIRA P J, CARRAÇA E V, MARKLAND D, et al., 2012. Exercise, physical activity, and self-determination theory: A systematic review[J]. Int J Behav Nutr Phys Act, 9(1):1-30.
- TOMPOROWSKI P D, MCCULLICK B A, PESCE C, 2015. Enhancing children's cognition with physical activity games[M]. Champaign, USA: Human Kinetics:28-67.
- TOMPOROWSKI P D, PESCE C, 2019. Exercise, sports, and performance arts benefit cognition via a common process[J]. Psychol Bull, 145(9):929-951.
- UYSAI N, KIRAY M, SISMAN A, et al., 2014. Effects of voluntary and involuntary exercise on cognitive functions, and VEGF and BDNF levels in adolescent rats[J]. Biotech Histochem, 90(1):55-68.
- VAN DER FELS I M J, TE WIERIKE S C M, HARTMAN E, et al., 2015. The relationship between motor skills and cognitive skills in 4-16 year old typically developing children: A systematic review [J]. J Sci Med Sport, 18(6):697-703.
- WATSON A, TIMPERIO A, BROWN H, et al., 2017. Effect of classroom-based physical activity interventions on academic and physical activity outcomes: A systematic review and meta-analysis[J]. Int J Behav Nutr Phys Act, 14(1):1-24.
- XIONG X, ZHU L N, DONG X X, et al., 2018. Aerobic exercise intervention alters executive function and white matter integrity in deaf children: A randomized controlled study[J]. Neural Plast, doi: 10.1155/2018/3735208.

Physical Exercise and Development of Brain and Mind in Children and Adolescents: Evidence and Theory

CHEN Aiguo^{1,2}, XIONG Xuan^{1,2}, ZHU Lina^{1,2}, DONG Xiaoxiao^{1,2}, WANG Wei^{2,3}

1. College of Physical Education, Yangzhou University, Yangzhou, 225127, China;

2. Institute of Sports, Exercise and Brain, Yangzhou, 225127, China;

3. Affiliated Hospital of Yangzhou University, Yangzhou, 225127, China

Abstract: In recent years, more and more attention has been paid to the relationship between physical exercise and development of brain and mind in children and adolescents. However, the research evidence in this field had not been integrated and the related theories need to be innovated urgently. In this study, a multidisciplinary, multidimensional, and completed chain of evidence from brain and mind was provided. And then, four main ways (i.e., exercise load, motor skill, scene interaction and psychological state) of physical exercise in improving the brain and mind of children and adolescents were suggested by combing the theoretical evolution in this field, and provided a multipath model of exercise enhancing the brain and mind in children and adolescents. Finally, based on the current research progress and social needs, three main directions of future research were provided: 1) to update the role of physical exercise; 2) to explore a new model of “combination of physical exercise and public health” to improve the brain and mind of children and adolescents; 3) to carry out practical research on physical education to promote the brain and mind in children and adolescents.

Keywords: physical exercise; children and adolescents; brain and mind; evidence; theory