

基本动作技能发展的神经机制及其教育促进策略

朱丹瑶¹, 周加仙^{2*}

1. 华东师范大学教育学部学前教育学系 (中国上海 200062);
2. 华东师范大学教育学部教育心理学系 教育神经科学研究中心 (中国上海 200062)

[摘要] 基本动作技能是儿童进行各项身体活动的基础, 对儿童身体和心理发展有着重要的意义。儿童基本动作技能发展不仅是儿童身心发展的重要方面, 而且是评价、诊断、监测儿童身心发展状况的重要指标。也有观点认为, 儿童基本动作技能发展不仅可以有效促进儿童的认知发展, 还可以作为身心发展障碍的康复手段。由于学界早期对脑结构和功能认识不足, 涉及儿童基本动作技能的已有研究更多聚焦于儿童基本动作技能的外在表现, 而从神经科学视角来探索儿童基本动作技能的研究较少。功能性磁共振成像、脑电等神经影像技术的出现, 为探究儿童基本动作技能的神经生理机制提供了可能。阐述了儿童基本动作技能发展的一般规律和神经生理基础, 讨论了儿童基本动作技能发展和认知发展之间的关系, 提出促进儿童基本动作技能发展的教育建议, 以期为儿童基本动作技能发展的研究提供新的视角, 推动我国早期儿童动作发展与教育的深入研究。

[关键词] 基本动作技能; 神经机制; 教育促进策略; 一般规律

Neural mechanism of development of fundamental motor skills and its educational promotion strategy

ZHU Danyao¹, ZHOU Jiaxian^{2*}

1. Department of Preschool Education, Faculty of Education, East China Normal University, Shanghai 200062, China;
2. Department of Educational Psychology, Centre for Educational Neuroscience, Faculty of Education, East China Normal University, Shanghai 200062, China

[Abstract] Fundamental motor skills are the foundation for children's physical activities and play a significant role in children's physical and psychological development. The development of fundamental motor skills is an important aspect of children's physical and mental development, also an important indicator for the evaluation, diagnosis and monitoring of children's physical and mental development. It is also believed that the development of fundamental motor skills can not only effectively promote children's cognitive development, but also serve as a means of rehabilitation for physical and mental development disorders. Due to the lack of understanding of brain structure and function in the early stage, existing studies have focused more on the external performance of children's fundamental motor skills, while fewer studies explore children's fundamental motor skills from the neuroscience perspective. With the emergence of neuroimaging technologies such as functional magnetic resonance imaging technology and electroencephalogram, it is possible to explore the neurophysiological mechanism of children's fundamental motor skills. This article describes the general principles and neurophysiological basis of the development of children's fundamental motor skills and discusses the relationship between the development of children's fundamental motor skills and cognitive development with the hope to provide a new perspective for the research on the development of children's fundamental motor skills and promote the in-depth research on the early children's motor skills development and education in China.

[Key words] fundamental motor skills; neural mechanism; educational promotion strategy; general principles

基本动作技能 (fundamental motor skill) 被认为是非自然发生的一种基本学习运动模式, 是他复杂的身体活动或运动活动的基础^[1]。自 18 世纪末期开始, 将儿童的基本动作作为个体发展研

基金项目 国际脑研究组织-联合国教科文组织国际教育局项目 (4500341923); 国家自然科学基金 (61877019)

* 通信作者 (Corresponding author) 周加仙, 博士, 研究员, 博士生导师; E-mail: jxzhou@psy.ecnu.edu.cn

收稿日期 2021-02-08

究的一部分以来,动作发展学家们的研究焦点从一开始的“描述动作发展规律”转变为“探究儿童动作发展的内在心理过程”。随着神经影像技术的发展以及对儿童基本动作技能认识的不断加深,研究逐渐聚焦于“脑与动作的双向建构”。在这个过程中,一部分国际动作发展学者概括了基本动作技能发展的一般规律,指出了儿童基本动作技能发展遵循的原则,描述了儿童基本动作技能发展的年龄特征。也有部分学者探寻了儿童基本动作技能与儿童认知、社会性发展之间的关系,指出儿童基本动作技能发展与儿童认知、社会性发展有着密切的联系。脑可塑性研究的不断深入以及脑成像、脑电等技术的迅速发展,极大地推动了脑与动作之间关系的研究,脑与动作的双向建构逐渐成为重要的研究课题。迄今,有关儿童基本动作技能发展与脑、认知的研究已有一定的数量,但是从教育神经科学角度对儿童基本动作技能发展的神经生理机制及其教育促进方面的研究较少。本文从神经科学和教育相整合的视角,阐述儿童基本动作技能发展的一般规律及其对儿童发展的价值,聚焦儿童基本动作技能发展的神经机制,以期对儿童基本动作技能发展的研究提供新的视角。

1 儿童基本动作技能发展的一般规律

基本动作技能作为复杂运动技能和各项身体活动的基础,通常在儿童时期发展起来^[2-3]。基本运动技能是专项运动技能形成的基础。按照动作技能的功能划分,基本动作技能可以分为身体移动技能(如跑、爬等)、物体控制技能(如击球、投掷等)和稳定性技能(如平衡和扭转)^[3-4]。根据参加运动的肌肉多少,可以把基本运动技能分为大肌肉动作和精细动作^[5]。基本运动技能主要表现为走、跑、跳、投、攀、钻、爬等方式。儿童基本动作技能的发展具有一定的规律,如儿童动作发展方向为从头至尾、从中心到四肢等。阐明儿童基本动作技能发展的一般规律,不仅有助于丰富和完善儿童动作发展的理论,更可以为儿童基本动作技能的实践活动提供理论指导。

自 20 世纪 20 年代以来,行为学家、神经生物学家、心理学家和教育学家等学者对儿童基本动作技能发展的一般规律进行了深入且多层次的研究。研究发现,儿童基本动作技能发展虽存在个体差异,但从儿童个体发展的整个过程看均遵循

一定的发展顺序和发展方向。儿童基本动作技能发展的一般规律可以概括为以下几个发展原则。第一,整分原则或分化原则,即儿童基本动作技能发展是先是整体的、笼统的,然后才是局部的、专门化的。第二,分级整合原则,即指多个简单的动作技能先独立发展,然后这些技能被整合成一个或若干个复杂的动作技能^[6]。第三,大小原则,即指大肌肉动作技能的发展先于精细动作技能的发展。大肌肉动作是运用大肌肉群而实现动作输出的一种运动技能^[7],大肌肉动作技能作为儿童时期动作技能发展的核心技能,其发展的宽度和深度直接或间接地影响儿童精细动作技能的发展。2~7 岁是人类动作发展的基础阶段,这一阶段主要以大肌肉动作的发展为重点,只有当大肌肉动作发展到一定程度且能发挥其相应的功能之后,精细动作才会随着时间推移逐步发展完善^[8]。第四,首尾原则,即指儿童基本动作技能是按照从头至尾的顺序发展。第五,从中心到边缘,即指儿童基本动作技能发展方向为从躯体中线向躯体边缘发展,如先发展头部、躯干等躯体中线上的动作,后发展四肢等躯体边缘上的动作。第六,从无意识动作到有意识动作,即指儿童基本动作技能最先是无意识的、非自主的,然后才逐渐发展为有意识的、自主的。综上所述,儿童基本动作技能是在基因表达的基础上、在适应环境的过程中逐渐发展起来的,有着一定的发展规律和特点。

儿童基本动作技能发展的一般规律是经过一代又一代的研究者观察、记录和归纳总结所得。纵观儿童基本动作技能发展的研究可以发现:早期对儿童基本动作技能发展的研究采用了自下而上的研究范式,即研究是以发现基本现象为起始,从个别的、特殊的基本动作技能中总结、概括出儿童基本动作技能发展的一般规律。同时,囿于科技发展的局限,发展心理学家、运动学家等研究者主要聚焦早期儿童基本动作技能发展的外显行为和表现。分子生物学、脑电等技术为探究儿童基本动作技能发展的一般规律和儿童基本动作技能的发起、持续和终止的神经生理机制提供了可能。

2 儿童基本动作技能发展的神经机制

经过心理学、运动学以及其他学科近半个世纪的研究可以大致得出一个结论:儿童基本动作

的习得和发展是建立在脑的生理基础之上的。但是在早期研究中,由于受科技发展等因素制约,探究儿童基本动作技能发展的生理机制,特别是神经生理机制,一直没有得到实质性的进展。随着神经影像学、神经分子学的发展,如功能性磁共振成像 (functional magnetic resonance imaging, fMRI)、事件相关电位、近红外成像等技术发展,研究者们逐渐揭示了儿童基本动作技能发展的神经生理机制。神经科学的研究,目的在于借助神经影像技术、分子实验等严谨科学的方式探究脑或者神经系统是怎样影响和控制儿童基本动作技能的产生和发展的。脑科学的研究表明,儿童基本动作技能发展主要在中枢神经系统的控制下得以实现。儿童基本动作技能隶属躯体运动系统,涉及的结构包括大脑皮层运动区、脑干、脊髓、基底神经节、小脑和外周躯体运动神经纤维等^[9],其中,大脑皮层运动区、脑干、脊髓是 3 个自上至下的神经结构。已有研究^[10]的主要观点是:脊髓会引起某些协调性的运动程序 (motor programs),但是这些程序被脑的下行指令所影响、执行和修饰。因此神经科学视角下的儿童基本动作技能发展可分为脊髓控制和脑控制两大部分。

2.1 基本动作技能发展的脊髓控制

脊髓 (spinal cord) 是躯体运动控制中最低位的结构^[11]。脊髓中唯一可以直接控制骨骼肌收缩的下运动神经元主要包括 α 运动神经元 (alpha motor neuron) 和 γ 运动神经元 (gamma motor neuron)。 α 运动神经元直接负责产生肌力,当 α 运动神经元接受了信号的传入,通过神经肌肉接头释放神经递质或聚集具有协同作用的运动单元的方式,实现对肌肉收缩的控制,为 α 运动神经元的肌肉控制提供另一种实现途径^[12]。 α 运动神经元的变性会不可避免地造成运动损害^[13]。 γ 运动神经元参与 γ 环 (γ -loop),运动神经元、感觉神经元、中间神经元构成了脊髓神经环路。在脊髓内部,有大量的协调控制某些运动的神经环路,特别是那些控制定型运动 (即重复性运动) 的环路^[10]。实验^[14]证明,将猫狗等哺乳动物的脊髓与脑分离很长一段时间,仍然可以激发这些哺乳动物后肢产生有节律的运动。简而言之,脊髓控制是躯体运动控制的低位结构,但在儿童基本动作技能的执行过程中发挥着重要的作用。

2.2 基本动作技能发展的脑控制

脊髓神经环路为躯体执行运动提供了最简单

的反射,而大脑皮层的存在为儿童实现复杂的随意运动 (voluntary movement) 提供了可能。运动皮层大致分为辅助运动皮质、前额叶皮质、前运动皮质和初级运动皮质。初级运动皮质在实现儿童基本动作技能上主要体现在以下 3 个方面。① 参与儿童运动力量的编码:并非初级运动皮质的每一块区域一一对应控制每一个动作,如 Sanes 等^[15]通过 fMRI 发现,对应任意手指的区域与其他手指所对应的区域会有重合。② 参与运动速度的编码:Truccolo 等^[16]的研究发现,无论是瘫痪患者 (即脊髓不产生作用时) 还是正常人,初级运动皮层的活动峰值与预期运动学 (位置和速度) 之间都存在相关性。③ 参与运动方向的编码:这一观点可以由 Kandel 等^[17]在 2000 年的动物实验得到论证。实验表明:虽然每一个神经元都有自己的优势方向,但是神经元群的向量方向与运动目标方向十分一致。随意运动方向的编码需要一群神经元的活动得以实现。前运动皮质对运动的声音等信号可以做出反应,并根据信号的输出实现运动的计划^[18]。倘若前运动皮质有损伤,许多运动是杂乱无章、没有逻辑的。此外前运动皮质在儿童运动发起 (准备过程) 的过程中起着至关重要的作用。Saga 等^[19]研究发现,前运动皮质在准备运动时十分活跃,但是在运动过程中不太活跃,它接受身体运动趋势的相关信息以及身体目前状态 (身体的位置和姿势) 的相关信息。如果按照计划和特定的序列组织做一个动作,除了需要前运动皮质以外,辅助运动皮质也是十分重要的。Isoda 等^[20]研究发现:在某种情况下想要抑制自己的习惯动作去实现另一个动作时,肯定要通过辅助运动皮质得以实现。同时也有研究表明:辅助运动皮质在运动前 1 s 或者 2 s 呈活跃状态^[21-22]。

小脑作为一个运动调节中枢,并不是直接发起和指挥儿童的肌肉运动,而是通过对脑下行运动的调节作用间接参与儿童运动控制,从而实现维持儿童躯体平衡、调节肌肉张力和协调随意运动。小脑的功能区可以被分为以下 3 类。① 前庭小脑:其一通过前庭核的作用间接控制躯体中轴肌肉的收缩^[23-24];其二由于眼外肌神经核的作用,实现控制眼球运动^[25]和协调头部运动^[26]。② 脊髓小脑:通过接收来自大脑皮层的内反馈信息和来自外周的外反馈信息,比较运动指令和实际运动情况的吻合程度,从而进一步实现对随意运动的随时管理^[27]。③ 皮层小脑:与大脑运动皮

层、基底神经节共同参与随意运动的计划和运动程序的编程^[28]，即在躯体运动的计划和发起过程中发挥极为重要的作用。小脑的另一个与儿童运动密切相关的功能体现在技巧性运动中，小脑的神经元环路在运动过程中具有运动学习（motor learning）作用。行为学实验中，有小脑参与的运动反射（前庭-眼反射）具有可塑性。在细胞生理学实验中，小脑的浦肯野细胞有长时间抑制现象（long-term depression, LTD），而 LTD 现象实际上是一种突触活动的可塑性变化和记忆痕迹的保存现象^[29]。以上证据均在一定程度上提示小脑对儿童运动学习起着至关重要的作用。

基底神经节（basal ganglia）同样也是运动系统中的构成成分。研究结果^[30]表明，尾状核和壳核接收了来自大脑皮层的信号输出，并发送至前额叶皮质。动物实验研究^[31]发现，基底神经节可以通过终止抑制，实现对运动的选择。基底神经节如果出现病变或者意外损伤都将导致个体出现严重的躯体运动障碍，主要表现为运动计划和运动执行能力的严重丧失。综上，儿童基本动作技能的脑控制属于高位结构，参与了儿童基本动作技能的计划、发起、持续和终止，在儿童基本动作技能发展过程中发挥重要作用。

3 基本动作技能发展与儿童认知发展

儿童发展是指在不可逆的时间框架内，儿童与环境相互作用，产生结构上的转变^[32]。儿童发展是成熟和环境相互作用的函数^[33]，主要表现在身体发展、认知发展和情绪-社会性发展三方面^[32]。基本动作技能对儿童特别是早期儿童而言，是保障儿童生存和发展的基本技能，是儿童与环境相互作用后的产物，是儿童与环境进行有效互动的重要手段。有研究指出，掌握基本动作技能有助于儿童身体、认知和社会性的发展^[34]，同时也是儿童拥有健康、积极的生活方式的基础^[35]。儿童基本动作技能是一种成熟和环境共同作用的产物，是儿童发展的重要组成部分。与此同时，身体的发育和大脑的逐渐成熟，使得儿童有机会习得更多基本动作技能来控制自己的身体和探索周围世界，这一过程又进一步促进了儿童身体、认知和情绪-社会性的发展。因此儿童基本动作技能发展和儿童发展之间的关系极为密切。

传统观点或研究更加倾向于认同这样一个观点，即儿童基本动作技能发展和认知发展是两个

独立的现象。因此早期有关儿童基本动作技能发展和认知发展的研究基本上呈现一个平行的态势。但是，近年来无论是针对外显行为的研究（如行为心理学、教育学等的）还是探究内在机制的研究（如生理学、神经生物学等）均表明，儿童基本动作技能发展与认知发展可能从根本上相互关联。研究发现，儿童动作与认知、学习品质具有显著的相关关系^[36]。另有研究^[37]表明，早期大肌肉动作发展水平与儿童后期的行为、认知水平的关系密切，与儿童行为和认知发展水平相一致，年龄越大这一特点越显著。Oja 等^[38]的研究发现，儿童精细动作的发展程度越高，在往后的入学适应中表现得越好。Grissmer 等^[39]进一步发现，儿童精细动作的发展是一个可以预测后期儿童在学业成就（特别是数学和阅读方面）的重要指标。另一类研究指出，儿童基本动作技能发展是评估儿童神经系统是否发育正常的重要指标，即无论是外显的儿童的大肌肉动作发展，还是精细动作发展水平，都可以用来初步评估和判断儿童是否存在注意力缺陷障碍、广泛性发育障碍等神经系统性疾病^[40-41]。如果将儿童动作（粗大动作和精细动作）作为干预项目，可进一步促进儿童脑功能的发展和完善^[42-44]。例如，陈爱国等^[44]对聋哑儿童进行为期 11 周的运动干预，通过结构磁共振成像技术发现儿童右侧小脑前部灰质体积减少，改善了儿童的执行功能。Colcombe 等^[45]运用磁共振技术发现，相较于不参加有氧运动的人，定期参加有氧运动的人的脑额叶前部、颞叶灰质和白质前部体积更大。上述以儿童外显行为为研究对象的研究发现，儿童基本动作技能发展和认知发展存在相关性。更值得一提的是，目前的一些来自神经科学的研究可为这个发现提供证据。有学者指出，儿童认知发展和儿童基本动作技能发展，在一定程度上具有相同的大脑神经发育基础，它们在某种程度上共享相同的脑区，如小脑和前额叶^[46-47]。绝大部分学者均认同小脑与儿童基本动作技能发展相关，前额叶与儿童认知发展相联系。但是近年来功能性神经影像学研究发现，当认知任务增加对背外侧前额叶皮层激活时，小脑的激活也会增加；反之当认知任务减少对背外侧前额叶皮层的激活时，小脑的激活同时也会减少^[48-49]。认知任务对背外侧前额叶皮层和小脑激活的同步性表明，儿童认知发展和儿童基本动作技能发展，在一定程度上共用相同的脑区；小脑对于儿童认

知发展以及基本动作技能发展可能很重要,许多需要前额叶皮层的认知任务也需要小脑。更直接的证据来自神经科学家对背外侧前额叶皮层损伤患者的研究。研究发现,前额叶皮层病变可引起小脑的代谢不足^[50-51],而小脑损伤或代谢不足可导致骨骼代谢减退^[52]。

无论是发展心理学家、教育学家对儿童基本动作技能发展和认知发展的外显行为和表现的研究,还是神经生物学家对两者内在神经机制的研究,均表明儿童基本动作技能发展和认知发展有着紧密的关系。儿童基本动作技能发展有着有迹可循的一般规律和确凿的神经生理机制,不仅是儿童发展的重要方面还可以作为观察、监测儿童认知发展的重要窗口。越来越多来自各界的研究者将儿童基本动作技能发展作为评价、诊断和监测儿童身心发展状况的重要指标。同时,越来越多的研究者意识到儿童基本动作技能发展和认知发展存在功能联系,皮亚杰的认知发展阶段理论、吉布森的直接或生态知觉理论均强调了儿童基本动作技能发展能有效促进儿童认知发展。来自神经科学的研究则从神经生理这一层面为揭示儿童基本动作技能发展和认知发展的关系提供了强有力的证据。

4 儿童基本动作技能发展的教育策略

尊重儿童基本动作技能发展的一般规律是实现儿童基本动作技能发展的前提。儿童基本动作技能发展的脊髓控制和脑控制从生理层面揭示了儿童神经系统的完善发育是实现儿童基本动作技能发展的物质基础,进而解释了儿童基本动作技能发展遵循“整分原则、分级整合原则、大小原则、首尾原则、从中心到边缘、从无意识动作到有意识动作”等规律。因此在促进儿童基本动作技能发展的家庭、学校和社会教育中,应遵循儿童神经系统发育与儿童基本动作发展之间的自然法则,尊重儿童基本动作发展的一般规律,适时、适量、适当地进行促进儿童基本动作技能发展的教育。例如:在幼儿园课程设置上,小班儿童应侧重发展大肌肉动作,中班开始应逐渐开始发展儿童的精细动作;在儿童基本动作技能发展的教育评价中,对于学龄前的儿童不应过于强调动作完成的准确性和标准化等。良好的运动环境是实现儿童基本动作技能发展的必要条件。而儿童基本动作技能发展是儿童发展的重要组成部分,环

境质量同样影响着儿童基本动作技能的发展。需要强调的是,这里的环境是指一种促进幼儿各项能力发展的一种整合性、开放性的教育环境,包括空间材料、运动教学法、运动互动、运动表现等。幼儿园是儿童观察、学习和实践健康相关行为的主要社交环境,最便于组织实施对儿童身体活动水平的干预,同时也意味着其活动行为较容易受到幼儿园环境的影响^[53]。国内学者研究发现青少年儿童的运动行为会受到师资、设备材料等学校运动环境的影响^[54-55]。因此,以下从幼儿园运动环境质量这一角度探讨促进儿童基本动作技能发展的教育策略。

第一,增加儿童发展基本动作技能的机会。Finn 等^[56]指出,育儿中心是影响儿童体育锻炼的重要决定因素,其日常计划可能会影响这些孩子的身体活动。幼儿园一日活动安排妥当与否直接影响儿童在幼儿园环境中是否有足够的机会参加运动活动,而运动机会是促进儿童运动发展的前提。因此,在幼儿园的一日安排中,要保证儿童有充足的时间可以进行身体活动,在条件允许的情况下为儿童创造更多可以进行身体运动的机会。相关部门也可以出台政策法规。如上海市教育委员会颁布的《上海市教育委员会关于进一步规范幼儿园保教工作的实施意见》中明确指出:要保证幼儿每天 2 h 的户外活动时间^[57]。这就从在政策层面上保证儿童有足够的时间和空间发展儿童基本动作技能。

第二,提供丰富多样、适合儿童年龄特点的运动材料、设备。研究发现,在室内运动环境更加多样化的学校就读的学生的总体脂肪更低,腰围更小,其原因是幼儿园运动环境的多样性会吸引儿童参与活动^[58-59]。幼儿园环境中的一些设备也会对儿童运动发展造成不利影响。Verstraete 等^[60]研究发现,体育活动环境得分较高孩子在托儿所时的身体活动较多,当环境中存在电视等物品时会增加儿童久坐的时间。对于学龄前儿童群体,保育机构的建成环境制约着 3~5 岁儿童的身体活动强度、频率与持续时间,且保育机构的支持性身体活动建成环境对减少幼儿的久坐时间,提高中、高强度身体活动和总身体活动水平具有显著效果^[61]。因此,教师在投放材料时不仅要考虑材料的丰富性,也要考虑材料的质量。这个质量涉及多方面,例如是否会对儿童精神和身体造成潜在的伤害,是否适合儿童年龄特点等。

第三,提高幼儿园教师的专业素养。教师是儿童运动的指导者,是幼儿园运动环境的重要组成部分。教师对儿童基本动作技能发展的影响不仅体现在材料提供、环境创设上,也体现在沟通交流、观察记录等各个方面。例如张健等^[62]研究表明,鼓励教师根据自己的情况修改教学方法可以提高幼儿在学龄前的身体活动水平。苏晓红等^[63]指出,教师教学能力、态度等直接影响学生的体育运动行为。因此提高教师的体育素养是促进儿童基本动作技能发展的重要一环。

总之,儿童基本动作技能发展是神经发育、认知发展等多方面因素交互作用的结果,并且在生理结构和功能发育正常的前提下,环境对儿童基本动作技能发展的影响十分显著。增加儿童发展基本动作技能的机会,提供丰富多样且适合儿童年龄特点的运动材料和设备,提高教师的专业素养,是促进儿童基本动作技能发展的有效措施。

参考文献

- [1] BARNETT L M, STODDEN D F, COHEN K E, et al. Fundamental movement skills: an important focus[J]. *J Teach Phys Educ*, 2016, 35(3): 219–225.
- [2] CLARK J E, METCALFE J S. The mountain of motor development: a metaphor [M]//CLARK J E, HUMPHREY J. *Motor development: research and reviews*. Reston: NASPE Publications, 2002.
- [3] GALLAHUE D L, OZMUN J C. *Understanding motor development: infants, children, adolescents, adults*[M]. Boston: McGraw-Hill, 2006.
- [4] 柳倩. 基于《3~6岁儿童学习与发展指南》的学前儿童基本运动能力研究[J]. *早期教育(教科研版)*, 2014(5): 23–26.
- [5] 王健, 何玉秀. *健康体适能*[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [6] VALSINER J. *Heinz Werner and developmental science* [M]. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2005.
- [7] ADOLPH K E, BERGER S E. *Motor development*[M]//DAMON W, LERNER R M. *Handbook of child psychology: social, emotional, and personality development*. 6th ed. Hoboken: Wiley, 2006.
- [8] KALATJ W. *Biological psychology*[M]. 7th ed. Belmont: Wadsworth/Thomson Learning, 2001: 84–97.
- [9] 潘家礼, 殷恒婵, 陈爱国, 等. 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*, 2016, 36(6): 84–91.
- [10] BEAR M E, CONNORS B W, PARADISO M A. *Neuroscience: exploring the brain* [M]. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2004.
- [11] SHEVTSOVA N A, TALPALAR A E, MARKIN S N, et al. Organization of left-right coordination of neuronal activity in the mammalian spinal cord: insights from computational modelling[J]. *J Physiol*, 2015, 593(11): 2403–2426.
- [12] 程艺, 戴躍. 概述脊髓运动控制系统的研究方法及结果[J]. *体育科技文献通报*, 2016, 24(6): 138–139.
- [13] MAXWELL N, CASTRO R W, SUTHERLAND N M, et al. α -Motor neurons are spared from aging while their synaptic inputs degenerate in monkeys and mice [J]. *Aging Cell*, 2018, 17(2): e12726.
- [14] SCHOMBURG E D, STEFFENS H, DEMBOWSKY K. Rhythmic phrenic, intercostal and sympathetic activity in relation to limb and trunk motor activity in spinal cats[J]. *Neurosci Res*, 2003, 46(2): 229–240.
- [15] SANES J N, DONOGHUE J P, THANGARAJ V, et al. Shared neural substrates controlling hand movements in human motor cortex [J]. *Science*, 1995, 268(5218): 1775–1777.
- [16] TRUCCOLO W, HOCHBERG L R, DONOGHUE J P. Collective dynamics in human and monkey sensorimotor cortex: predicting single neuron spikes[J]. *Nat Neurosci*, 2010, 13(1): 105–111.
- [17] KANDEL E R, SCHWARTZ J H, JESSELL T M, et al. *Principles of neural science* [M]. New York: McGraw-Hill, 2000.
- [18] LUU P, TUCKER D M, DERRYBERRY D, et al. Electrophysiological responses to errors and feedback in the process of action regulation[J]. *Psychol Sci*, 2003, 14(1): 47–53.
- [19] SAGA Y, IBA M, TANJI J, et al. Multidimensional representations of task phases in the lateral prefrontal cortex[J]. *Neurosci Res*, 2011(71): e381.
- [20] ISODA M, HIKOSAKA O. Switching from automatic to controlled action by monkey medial frontal cortex[J]. *Nat Neurosci*, 2007, 10(2): 240–248.
- [21] WINDISCHBERGER C, CUNNINGTON R, LAMM C, et al. Time-resolved analysis of fMRI signal changes using brain activation movies[J]. *J Neurosci Methods*, 2008, 169(1): 222–230.
- [22] CUNNINGTON R, WINDISCHBERGER C, Moser E. Premovement activity of the pre-supplementary motor area and the readiness for action: studies of time-resolved event-related functional MRI[J]. *Hum Mov Sci*, 2005, 24(5–6): 644–656.
- [23] LUND S, POMPEIANO O. Monosynaptic excitation of

- alpha motoneurons from supraspinal structures in the cat [J]. *Acta Physiol Scand*, 1968, 73(1): 1-21.
- [24] ROSENGREN S M. Effects of muscle contraction on cervical vestibular evoked myogenic potentials in normal subjects[J]. *Clin Neurophysiol*, 2015, 126(11): 2198-2206.
- [25] LISBERGER S G. Internal models of eye movement in the floccular complex of the monkey cerebellum [J]. *Neuroscience*, 2009, 162(3): 763-776.
- [26] KRAUZLIS R J, LISBERGER S G. Directional organization of eye movement and visual signals in the floccular lobe of the monkey cerebellum[J]. *Exp Brain Res*, 1996, 109(2): 289-302.
- [27] KAWATO M, FURUKAWA K, SUZUKI R. A hierarchical neural-network model for control and learning of voluntary movement[J]. *Biol Cybern*, 1987, 57(3): 169-185.
- [28] 詹姆斯·卡拉特. 生物心理学[M]. 10 版. 苏彦捷, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2012.
- [29] JG 尼克尔斯, AR 马丁, BG 华莱士, 等. 神经生物学: 从神经元到脑[M]. 杨雄里, 译. 北京: 科学出版社, 2014.
- [30] HOOVER J, STRICK P. Multiple output channels in the basal ganglia[J]. *Science*, 1993, 259(5096): 819-821.
- [31] TURNER R S, DESMURGET M. Basal ganglia contributions to motor control: a vigorous tutor[J]. *Curr Opin Neurobiol*, 2010, 20(6): 704-716.
- [32] 王争艳, 邢晓沛. 儿童发展[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2019: 1-2.
- [33] RM 利伯特. 发展心理学[M]. 刘范, 译. 北京: 人民教育出版社, 1983: 8.
- [34] 董 奇, 陶 沙. 动作与心理发展[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2002.
- [35] Greg Payne, 耿培新, 梁国立. 人类动作发展概论[M]. 北京: 人民教育出版社, 2008.
- [36] 柳 倩, 曾 睿. 3~5 岁儿童动作发展及其与早期认知、学习品质的关系研究[J]. *全球教育展望*, 2018, 47(5): 94-112.
- [37] 任园春, 赵琳琳, 王 芳, 等. 不同大肌肉动作发展水平儿童体质、行为及认知功能特点[J]. *北京体育大学学报*, 2013, 36(3): 79-84.
- [38] OJA L, JÜRIMÄE T. Physical activity, motor ability, and school readiness of 6-year-old children[J]. *Percept Mot Skills*, 2002, 95(2): 407-415.
- [39] GRISSMER D, GRIMM K J, AIYER S M, et al. Fine motor skills and early comprehension of the world: two new school readiness indicators[J]. *Dev Psychol*, 2010, 46(5): 1008-1017.
- [40] FILIPPI M, ROCCA M A, CODELLA M, et al. A functional magnetic resonance imaging study in multiple sclerosis patients with fatigue[J]. *NeuroImage*, 2002, 13(6): 790.
- [41] FOURNIER K A, HASS C J, NAIK S K, et al. Motor coordination in autism spectrum disorders: a synthesis and meta-analysis[J]. *J Autism Dev Disord*, 2010, 40(10): 1227-1240.
- [42] DAVIDOVITCH M, LEVIT-BINNUN N, GOLAN D, et al. Late diagnosis of autism spectrum disorder after initial negative assessment by a multidisciplinary team[J]. *J Dev Behav Pediatr*, 2015, 36(4): 227-234.
- [43] BEST J R. Effects of physical activity on children's executive function: contributions of experimental research on aerobic exercise[J]. *Dev Rev*, 2010, 30(4): 331-351.
- [44] 陈爱国, 熊 轩, 朱丽娜, 等. 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*, 2018, 38(1): 42-48.
- [45] COLCOMBE S J, ERICKSON K I, SCALF P E, et al. Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans[J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2006, 61(11): 1166-1170.
- [46] 耿 达, 张兴利, 施建农. 儿童早期精细动作技能与认知发展的关系[J]. *心理科学进展*, 2015, 23(2): 261-267.
- [47] DIAMOND A. Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex[J]. *Child Dev*, 2000, 71(1): 44-56.
- [48] DE ZUBICARAY G I, WILLIAMS S C, WILSON S J, et al. Prefrontal cortex involvement in selective letter generation: a functional magnetic resonance imaging study [J]. *Cortex*, 1998, 34(3): 389-401.
- [49] SCHLÖSSER R, HUTCHINSON M, JOSEFFER S, et al. Functional magnetic resonance imaging of human brain activity in a verbal fluency task [J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 1998, 64(4): 492-498.
- [50] FULHAM M J, BROOKS R A, HALLETT M, et al. Cerebellar diaschisis revisited: pontine hypometabolism and dentate sparing [J]. *Neurology*, 1992, 42(12): 2267-2273.
- [51] MIURA H, NAGATA K, HIRATA Y, et al. Evolution of crossed cerebellar diaschisis in middle cerebral artery infarction[J]. *J Neuroimaging*, 1994, 4(2): 91-96.
- [52] BONI S, VALLE G, CIOFFI R P, et al. Crossed cerebello-cerebral diaschisis: a SPECT study [J]. *Nucl Med Commun*, 1992, 13(11): 824-831.
- [53] 姚志强. 社区体育环境对儿童青少年身体活动的影响 [D]. 上海: 上海外国语大学, 2019.

- implications for teaching | stepping stones to reading[J]. *Theory Pract*, 2004, 43(4): 295–303.
- [27] LOMAX R G, MCGEE L M. Young children's concepts about print and reading: toward a model of word reading acquisition[J]. *Read Res Q*, 1987, 22(2): 237–256.
- [28] MCGEE L M, LOMAX R G, HEAD M. Young children's written language knowledge: what environmental and functional print reading reveals[J]. *J Read Behav*, 1988, 20(2): 99–118.
- [29] MOLFESE V J, MODGLIN A A, BESWICK J L. Letter knowledge, phonological processing and print knowledge: skill development in nonreading preschool children[J]. *J Learn Disabil*, 2006, 39(4): 296–305.
- [30] REUTZEL D R, FAWSON P C, YOUNG J R, et al. Reading environmental print: what is the role of concepts about print in discriminating young readers' responses? [J]. *Read Psychol*, 2003, 24(2): 123–162.
- [31] WEPNER S B. Linking logos with print for beginning reading success[J]. *Read Teach*, 1985, 38(7): 633–639.
- [32] SALEWSKI W C. The effect of environmental print reading on the literacy development of kindergarten children [D]. Vancouver: University of British Columbia, 1995.
- [33] VERA D. Using popular culture print to increase emergent literacy skills in one high-poverty urban school district[J]. *J Early Child Lit*, 2011, 11(3): 307–330.
- [34] 陶 沙, 李蓓蕾. 环境文字经验对幼儿外显性字词学习的促进作用[M]//彭聃龄, 陈宝国. 汉语儿童语言发展与促进. 北京: 人民教育出版社, 2008: 206–217.
- [35] 洪月女, 林怡慧. 运用环境文字实施国小二年级学童后设语言觉知教学[J]. 台中教育大学学报(人文艺术类), 2016, 30(2): 41–63.
- [36] NEUMANN M M. Using environmental print to foster emergent literacy in children from a low-SES community [J]. *Early Child Res Q*, 2014, 29(3): 310–318.
- [37] HANEY M, HILL J. Relationships between parent-teaching activities and emergent literacy in preschool children[J]. *Early Child Dev Care*, 2004, 174(3): 215–228.
- [38] ROBERTS J, JURGENS J, BURCHINAL M. The role of home literacy practices in preschool children's language and emergent literacy skills[J]. *J Speech Lang Hear Res*, 2005, 48(2): 345–359.
- [39] NEUMANN M M. The effects of a parent-child environmental print program on emergent literacy [J]. *J Early Child Res*, 2018, 16(4): 337–348.
- [40] LETCHMAN H, FINN D M, ALDRIDGE J. Environmental print as strategy for developmental literacy of young atypical children[J]. *Percept Mot Skills*, 1991, 73(2): 413–414.

(上接第 210 页)

- [54] 李 俊, 张惠红. 生态学模型在我国青少年课外体育锻炼中的应用[J]. 河北体育学院学报, 2013, 27(5): 33–36.
- [55] TANDON P, HASSAIRI N, SODERBERG J, et al. The relationship of gross motor and physical activity environments in child care settings with early learning outcomes[J]. *Early Child Dev Care*, 2020, 190(4): 570–579.
- [56] FINN K, JOHANNSEN N, SPECKER B. Factors associated with physical activity in preschool children[J]. *J Pediatr*, 2002, 140(1): 81–85.
- [57] 上海市教育委员会. 关于进一步规范幼儿园保教工作的实施意见[EB/OL]. (2011-01-13) [2020-11-12]. http://edu.sh.gov.cn/xxgk2_zd gz_xqjy_02/20201015/v2-0015-gw_402022011001.html.
- [58] ADAMO K B, WILSON S, HARVEY A L, et al. Does intervening in childcare settings impact fundamental movement skill development? [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2016, 48(5): 926–932.
- [59] FITZPATRICK C, ALEXANDER S, HENDERSON M, et al. Prospective associations between play environments and pediatric obesity[J]. *Am J Health Promot*, 2019, 33(4): 541–548.
- [60] VERSTRAETE S J, CARDON G M, DE CLERCQ D L, et al. Increasing children's physical activity levels during recess periods in elementary schools: the effects of providing game equipment [J]. *Eur J Public Health*, 2006, 16(4): 415–419.
- [61] BOWER J K, HALES D P, TATE D F, et al. The childcare environment and children's physical activity[J]. *Am J Prev Med*, 2008, 34(1): 23–29.
- [62] 张 健, 孙 辉, 张建华, 等. 儿童青少年身体活动建成环境研究热点解析、前瞻与启示[J]. 中国体育科技, 2020, 56(4): 11–19.
- [63] 苏晓红, 李炳光, 田 英. 基于社会生态学模型的青少年体育锻炼行为相关因素分析[J]. 沈阳体育学院学报, 2017, 36(4): 70–76.