

婴幼儿早期运动的神经机制及对托幼机构开展体育活动的启示

闫坤, 张浩然, 周诗雨, 厉育纲*

北京青年政治学院, 北京

收稿日期: 2025年4月7日; 录用日期: 2025年7月21日; 发布日期: 2025年8月1日

摘要

婴幼儿早期运动的发展是其进行各项身体活动的基础, 不仅对幼儿身心发展有着重要的意义, 而且是评估、诊断、改善幼儿身心发展状况的重要指标。早期由于技术水平的限制, 研究者对脑结构和功能认识不足, 涉及婴幼儿早期运动发展的相关研究更多聚焦于幼儿外在的运动行为表现, 而从脑科学视角来探究运动发展的研究较少。而功能性磁共振成像、近红外等脑影像技术的出现, 为研究婴幼儿早期运动能力发展的神经生理机制提供了可能。本文梳理了婴幼儿早期运动发展的一般规律和神经生理基础, 讨论了运动能力发展和认知发展之间的关系, 并据此提出促进运动能力发展的保教建议, 以期为促进婴幼儿运动发展的研究提供新的思路和视角, 进一步推动我国婴幼儿早期动作发展与教育的研究。

关键词

儿童早期动作发展, 神经机制, 幼儿园动作活动

The Neural Mechanisms of Early Motor Development in Infants and Implications for Physical Activity Implementation in Early Childhood Education Institutions

Kun Yan, Haoran Zhang, Shiyu Zhou, Yugang Li*

Beijing Youth Politics College, Beijing

Received: Apr. 7th, 2025; accepted: Jul. 21st, 2025; published: Aug. 1st, 2025

*通讯作者。

文章引用: 闫坤, 张浩然, 周诗雨, 厉育纲(2025). 婴幼儿早期运动的神经机制及对托幼机构开展体育活动的启示. 心理学进展, 15(8), 1-9. DOI: 10.12677/ap.2025.158439

Abstract

The development of early movement in infants and young children is the foundation for their various physical activities. It is not only of great significance to the physical and mental development of young children, but also an important indicator to evaluate, diagnose and improve the physical and mental development of young children. Due to the limitations of technical level in the early stage, researchers did not have enough knowledge of brain structure and function, and more related research on the development of early movement of infants and young children focused on the external movement behavior performance of young children, while less research on the development of movement from the perspective of brain science. However, the emergence of brain imaging technologies such as functional magnetic resonance imaging and near-infrared has made it possible to study the neuro-mechanism of early motor development in infants and young children. This paper combs the general law and neuro-mechanism of early movement development in infants and young children, discusses the relationship between motor development and cognitive development, and puts forward some suggestions on how to promote the development of motor ability, in order to provide new ideas and perspectives for the research on the development of infant motor development, and further promote the research on the development and education of early movement of infants and young children in China.

Keywords

Early Childhood Motor Development, Neuro-Mechanism, Kindergarten Motor Activities

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. 背景

世界卫生组织在对《5岁以下婴幼儿运动、静坐和睡眠指南》的解读中指出：0~3岁婴幼儿的运动发展，在很长的时间里未引起广泛的重视，无论是儿童家长，还是专业人员，都认为0~3岁婴幼儿的运动发展是一种“自主生长”的状态，任其自然发展。实际上0~3岁婴幼儿的运动是机体各系统机能发展的基础，更是大脑发育的重要影响因素。因此，应深刻认识到儿童在生命早期积极参与运动不仅能提升身体素质，还能促进儿童的全面发展。可以说达到身体活动指南只是运动参与的最低目标，在早期教育中应贯彻多多益善的原则，创造合适的运动条件，提高儿童的运动能力。本文拟通过对现有婴幼儿早期运动、婴幼儿动作与认知发展等相关的实证研究文献进行系统性梳理与分析，总结实证研究中儿童运动的影响因素和运动促进措施，并从运动的神经机制的视角出发，对现有实证研究的贡献与问题进行反思与剖析，在此基础上提出展望。

2. 方法

本研究选取我国1995年~2024年在中国知网(CNKI)、万方数据公开发表的实证研究文献，具体文献类型包括三类：期刊论文、博士学位论文和著作。其中，源刊包括中文社会科学引文索引来源期刊(CSSCI)、北大核心期刊和办刊历史悠久且具有重要影响力的学前教育学类特色期刊(《学前教育》《早期教育》《幼儿教育》和《教育导刊》等)；著作包括未以期刊论文形式发表的课题研究报告类著作和改革开放之前学

前教育名家论著全集。文献检索和筛选过程如下。首先，分别按照儿童动作、运动的神经机制这两个专题检索，检索关键词为：婴幼儿粗大动作，婴幼儿精细动作，运动发展的神经机制，运动干预，儿童运动活动。其次，基于以下标准筛选：(1) 须为实证研究；(2) 剔除重复文献；(3) 剔除未完整呈现实证研究基本要素的文献。最终共选出论文 2289 篇。其中儿童运动发展类论文 1905 篇，运动的神经机制类文章 384 篇。通过对所选文献的基本特征研究发现，婴幼儿早期运动的神经机制以及影响因素的研究在早期主要以理论探讨与经验总结为主，行动研究贯穿于整个研究历程之中，量化研究、质性研究及混合方法研究类实证研究自 20 世纪 90 年代后兴起，进入 21 世纪后逐渐增多，大量的实证研究成果主要集中在 2010 年之后。采用 CiteSpace6.3.R1 分别对婴幼儿运动、运动的神经机制的关键词进行共现图谱分析，其结果如图 1~3 所示。在排除由检索主题本身所导致的频次和中介中心性必然较高的关键词，例如“儿童”“幼儿发展”和“神经机制”等后，依据关键词共现图谱及关键词的词频和中介中心性(≥ 0.03)的筛选条件，对所得相近关键词进行聚类，得出婴幼儿早期运动影响因素的主要热点方向和研究内容。图 1 和图 2 分别为以婴幼儿运动发展和运动发展的神经机制为主题的文章关键词聚类分析，通过两个聚类分析可以发现：“婴幼儿早期运动发展”实证研究的热点方向为：婴幼儿粗大动作和精细动作的发展、体育游戏、神经发展和运动与认知功能的关系等多个维度，其出现的高频词汇分别为：动作发展、粗大动作、精细动作、早期干预、体育游戏、动作能力、认知能力、神经机制(见图 1、图 2)。图 3 为以婴幼儿早期运动为主题的关键词时间线图，从图谱中可以发现近 30 年来对于婴幼儿早期动作发展的研究主要聚焦在婴幼儿运动发展的特点、运动干预、影响因素及促进对策，从 1995 年开始早期对婴幼儿运动的研究主要聚焦于精细动作，早期干预和婴幼儿智力发展上，2010 年之后，逐渐聚焦于粗大动作的发展，康复训练和体育游戏的开展以及认知能力的发展(见图 3)。

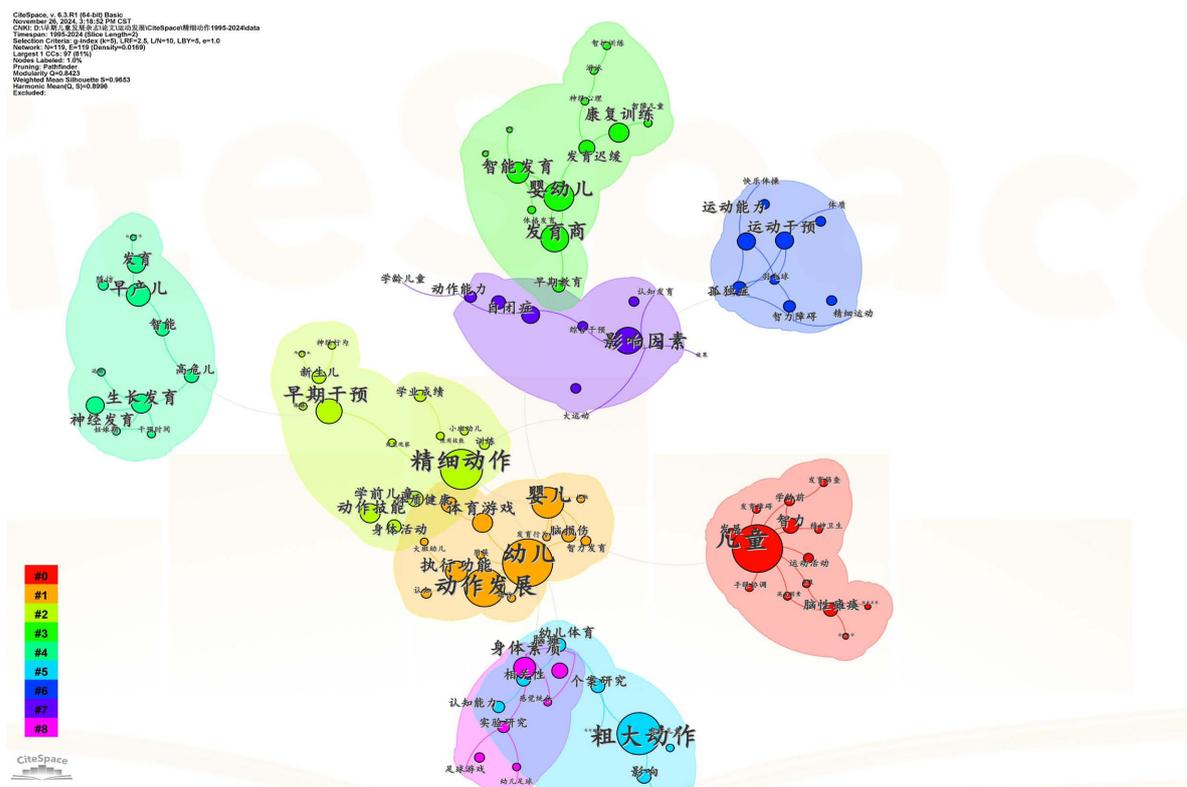


Figure 1. Clustering analysis of keywords for infant and young children’s motor development
图 1. 婴幼儿运动发展关键词聚类分析图

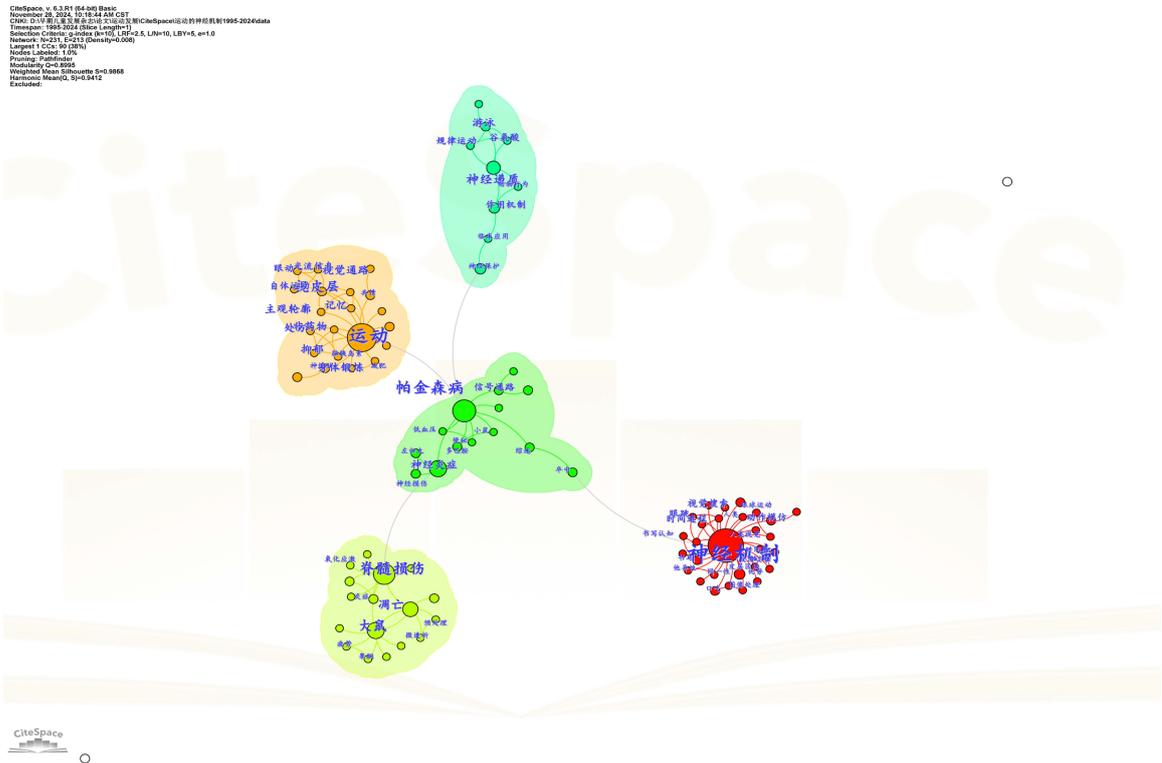


Figure 2. Keyword clustering analysis map of the neural mechanisms of motor development
 图 2. 运动发展的神经机制关键词聚类分析图

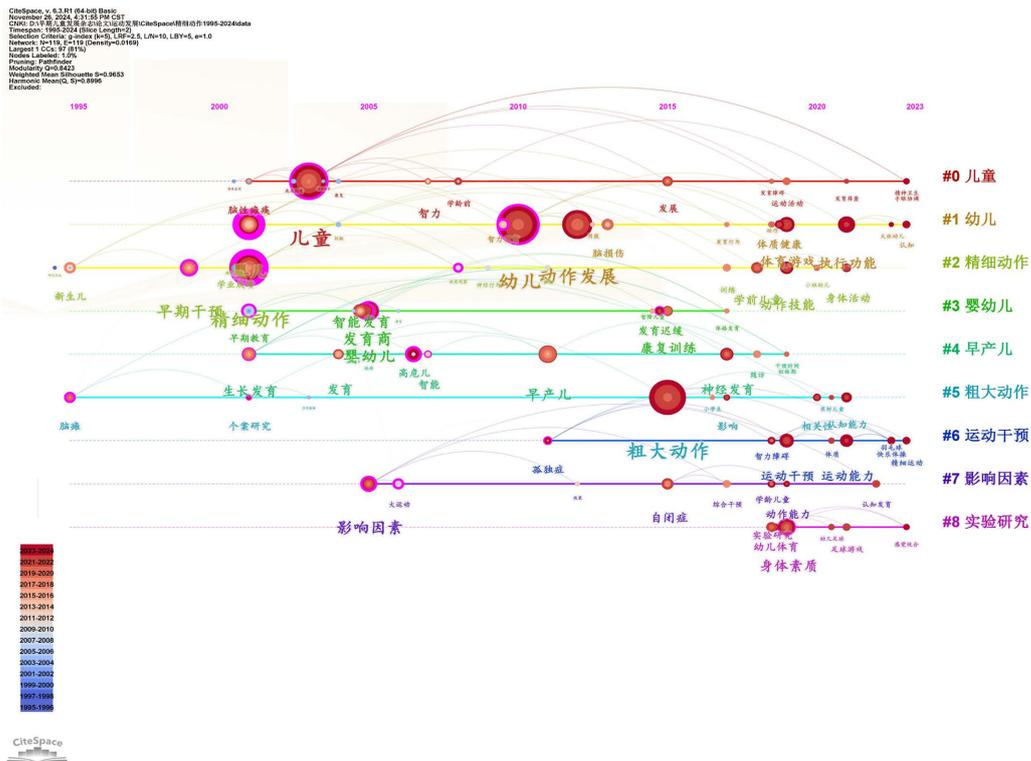


Figure 3. Timeline map of motor development in infants and young children
 图 3. 婴幼儿早期运动时间线图谱

3. 婴幼儿动作发展

3.1. 婴幼儿动作发展的神经机制

随着认知神经科学、神经影像学的发展,通过功能磁共振成像、事件相关电位等技术,研究者逐步揭示了运动发展的神经机制。研究表明,婴幼儿运动能力的发展主要是在中枢神经系统的控制下实现的。基本运动技能属于躯体运动系统,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结构,其中:大脑皮层运动区、脑干、脊髓是三个自上而下的神经结构,相关研究表明:脊髓会引起某些协调性的运动程序(motor program),但这些程序会被脑的下行指令所影响、执行和修饰(Bear, 2004)。因此从神经结构和功能执行的视角来看:儿童的动作技能的发展主要受到脊髓和大脑两部分控制。

3.1.1. 婴幼儿运动发展的脊髓机制

研究者通过计算建模的方法发现脊髓(spinal cord)是躯体运动控制中最低位的结构(Schevtsova et al., 2015),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(重复性运动)的环路(Bear, 2004)。Schomburg 等研究者(Schomburg, 2003)发现:在将猫等哺乳动物的脊髓与脑分离一段时间后,仍然能控制动物后肢产生节律性的运动。由此可见,虽然脊髓控制在运动控制中处在低位水平,但在简单的运动条件反射中起着重要作用。

3.1.2. 婴幼儿运动发展的脑机制

脊髓神经环路为躯体执行运动提供了基础的反射,大脑皮层则为婴幼儿实现更复杂的有意运动提供了可能。其中控制运动的脑区包括:初级运动皮层、前运动皮层、辅助运动皮层和小脑等。

其中初级运动皮层控制运动的表现主要包括:1) 对于婴幼儿运动力量的调控;2) 对于运动速度的调控;3) 对于运动方向的调控。Truccolo 等研究者发现,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(Truccolo et al., 2010),说明初级运动皮层在运动速度和方向的控制方面发挥作用。

前运动皮层如前扣带回等皮层,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(Luu et al., 2003)。如果前运动皮层有损伤,许多运动就会变得无序。另外在运动形成的过程中,除了初级运动皮层外,辅助运动皮层也起着非常重要的作用,通过功能磁共振成像发现:辅助运动区(SMA)在自发活动的准备和组织中起着重要作用,在运动开始前 2 秒内,皮层活动开始增加,呈活跃状态(Windischberger et al., 2008; Cunnington et al., 2005)。

除了直接参与运动控制的脑区外,小脑作为一个运动调节中枢,通过对下层运动皮层发出运动指令来间接参与儿童运动控制,从而帮助婴幼儿实现维持身体平衡、调节肌张力和协调随意运动等功能。小脑负责运动的功能区可以分为 3 类:1) 前庭小脑:一方面可以通过前庭核来间接控制躯体中轴肌肉的收缩(Lund & Pompeiano, 1968; Rosengren, 2015);另一方面可以在眼外肌肉的作用下实现控制眼球运动(Lisberger, 2009)和协调头部动作(Krauzlis & Lisberger, 1996),这也是婴幼儿完成手眼协调动作所需的关键能力。这类技巧性运动,也是小脑与婴幼儿运动密切相关的功能。2) 脊髓小脑;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(詹姆斯, 2012)。综上可以发现婴幼儿运动开展的背后有着非常复杂的脑机制。

3.2. 动作发展与认知发展的关系

婴幼儿的发展是指在不可逆的时间框架内,其与环境相互作用,产生结构上的转变,主要表现在身体发展、认知发展以及情绪-社会性发展三方面(王争艳, 邢晓沛, 2019)。婴幼儿的发展是成熟与环境相

互作用的函数(利伯特, 1983)。动作的产生对于婴幼儿来说是保障其生存和发展的重要方面,也是婴幼儿在与环境相互作用后的结果。

传统观点认为婴幼儿动作能力和认知能力是两个独立的方面。随着脑影像技术的发展,研究者逐渐发现婴幼儿动作技能与认知能力之间有着密切的联系。研究发现,儿童动作能力的发展与认知、学习品质具有显著的正相关关系(柳倩, 曾睿, 2018)。另外研究表明,大肌肉动作发展水平与其行为和认知发展水平一致(任园春等, 2013),且粗大动作的发展水平与执行功能和早期数学能力也存在显著正相关(李清岚, 2024)。另外精细动作发展与认知能力的发展也具有显著的相关性,研究表明2~3岁幼儿精细动作发展与言语理解、视觉空间能力发展有显著正相关,4~6岁幼儿精细动作发展与视觉空间、流体推理和加工速度发展具有显著正相关(吴升扣等, 2023),并且学前儿童精细动作能力能显著预测执行功能,说明儿童精细动作能力发展越好其执行功能越强(王焱, 2023)。

许多研究者也指出:评估幼儿神经系统发育是否正常的一个重要指标就是运动能力的发展(武志俊等, 2021),发展儿童运动能力可以进一步促进幼儿大脑功能的完善(李红, 何磊, 2003),运动不仅对婴幼儿期大脑结构的成熟和重建有重要作用,还促进了大脑结构的成熟。研究显示,早期运动有助于建立更多的神经连接,尤其是大脑的运动皮层、前额叶皮层以及海马区域(与记忆相关),横断研究发现,经过12个月的运动介入后,海马回体积明显增大(路毅, 邓文冲, 2020)。董奇等研究者指出婴幼儿在发展相关动作技能的同时也能促进其身体、认知能力和社会性的发展(董奇, 陶沙, 2002)。同时,随着儿童身体的发育和大脑的成熟,相应的动作技能会进一步得到促进,这也进一步促进其认知能力的发展。

综上,婴幼儿动作能力与认知发展的关联性在更深层次水平上是反映在神经生理机制与行为交互的动态过程上。近年来的脑科学研究表明,运动对认知的促进作用主要通过以下三条因果路径实现:(1)神经可塑性的双向作用。运动刺激可激活大脑皮层(如初级运动区、前额叶)及小脑的神经环路,促进突触修剪和髓鞘化进程。例如,粗大动作(如攀爬、跳跃)通过激活小脑-前额叶通路,增强工作记忆和抑制控制功能;精细动作(如抓握、拼插)则通过强化顶叶-颞叶连接,提升视觉空间推理能力。反之,认知任务的完成(如问题解决、规则理解)也需依赖运动皮层对动作序列的计划与执行,形成“动作-认知”双向反馈环路。(2)环境交互的中介效应。动作发展是婴幼儿探索环境的核心手段。例如,爬行阶段的婴儿通过空间位移建立物体恒存性的概念;投掷动作帮助幼儿理解重力与轨迹的物理规律。这种“动作-环境-认知”的三角关系表明,运动不仅是认知发展的结果,更是其驱动力。纵向追踪研究显示,2岁时动作技能较高的幼儿,5岁时在数学推理和语言流畅性测试中得分显著优于同龄人,且这种关联不受家庭经济地位的影响。因此动作与认知发展的因果关系体现为神经生理机制的协同进化以及环境探索的中介效应上。未来研究需进一步通过随机对照实验验证运动干预的长期效果,并探索基因-环境交互作用对个体差异的影响。

3.3. 对托幼机构开展体育活动的启示

基于运动对婴幼儿早期发展的重要意义,全世界范围内越来越关注婴幼儿身体活动状况,WHO及各国相关机构纷纷发布针对婴幼儿的运动指南或身体活动指南,期望将运动融入生活,在婴幼儿时期形成良好的运动习惯。

2019年4月24日,WHO首次发布了《5岁以下儿童运动、静坐和睡眠指南》(张长皓等, 2021),内容包括:不足1岁婴儿,每天以多种方式进行身体活动,尚不能自主行动的婴儿在清醒时每天至少进行30分钟的俯卧位伸展;1~2岁儿童,在各种强度身体活动中花费至少180分钟,包括中等到剧烈强度的身体活动,多则更好;3~4岁儿童,在各种强度的身体活动中花费至少180分钟,其中至少包括60分钟的中等到剧烈强度身体活动,多则更好。2022年1月,由国家卫生健康委疾控局指导,中国疾病预防控制中心

制中心、国家体育总局体育科学研究所牵头组织编制的《中国人群身体活动指南(2021)》正式发布。该指南推荐：2岁及以下儿童，每天与看护人进行各种形式的互动式玩耍，能独立行走的幼儿每天进行不少于180分钟(3小时)的身体活动；3~5岁儿童，每天要进行不少于180分钟的身体活动，其中包括60分钟的活力玩耍，鼓励多做户外活动(《中国人群身体活动指南》编写委员会，2021)。

对于托幼机构来说，熟悉和尊重婴幼儿基本运动技能发展的一般规律是促进其动作能力和认知能力发展的前提。婴幼儿动作的产生由脊髓和脑控制，这从生理层面揭示了婴幼儿动作能力发展的神经机制，并进一步解释了幼儿运动的发展遵循“头尾原则、大小原则、从中心到四周、从无意识动作到有意识动作”等规律，由此给我们的启示：

启示一：在进行运动教育中，应该遵循幼儿神经系统发育和动作发展的规律，根据不同年龄儿童动作发展特点制定发展目标与干预策略

0~1岁婴儿：以感觉-运动整合为核心，强化脊髓反射，促进感觉-运动整合。每日安排30分钟俯卧伸展(Tummy Time)，辅以摇铃抓握、触觉毯探索等活动，刺激脊髓反射向皮层控制的过渡。具体可以进行的包括：

俯卧训练：每日累计30分钟，利用彩色摇铃引导抬头、转头，刺激颈肌与视觉追踪。

抓握练习：提供不同质地(绒布、硅胶)的环形玩具，锻炼手掌抓握与触觉区分。

被动操：结合儿歌节奏进行四肢屈伸运动，增强关节灵活性与本体感觉。

1~2岁幼儿：重点发展位移技能(如独立行走、推拉玩具)，建立空间认知。可以利用低矮攀爬架、软垫斜坡等设施，强化前庭小脑的平衡调节功能；同时引入简单指令游戏(如“跳圈圈”)，初步整合动作与语言理解。具体可以进行的包括：

障碍路径：设置高20cm的泡沫台阶、宽30cm的平衡木，练习跨越与重心转移。

定向投掷：使用重量100g的布球，瞄准1m处的彩色篮筐，强化手眼协调与距离判断。

音乐律动：配合《动物模仿操》进行跳跃、蹲起，节奏控制在60~80BPM以匹配动作节律。

3~4岁儿童：以复杂粗大动作(如单脚跳、障碍跑)与工具性精细动作(如剪纸、串珠)为主，设计角色扮演类体育游戏(如“消防员救援”)，要求儿童在跨障碍奔跑中完成特定任务，同步训练动作协调与执行功能，帮助幼儿提升动作精确性，并初步理解社会性规则。具体可以进行的包括：

工具操作：使用儿童剪刀剪裁波浪线，镊子夹取直径1cm的彩珠，每周3次，每次15分钟。

合作游戏：开展“运输接力”(用托盘运送积木)与“指令跳格子”(按颜色/形状指令移动)，强化执行功能与团体协作。

运动叙事：通过“小熊过河”等情景故事，将跨跳、投掷等动作串联为情节任务。

启示二：在托幼机构进行体育教育过程中要提供与身体活动相关的物质和社会环境方面的内容，并构建分级运动环境与课程体系。

空间分区：按动作难度划分活动区域。例如，设置“基础运动区”(平衡步道、钻爬隧道)与“挑战进阶区”(可调节高度的攀岩墙、多向投掷靶)，允许幼儿根据能力自主选择，避免“一刀切”式训练。

材料投放：

0~2岁：提供触感球、抓握环等轻量化器材，搭配音乐律动垫，刺激多感官参与；

3~4岁：引入组合式器材(如可拆卸的平衡木+跳箱)，鼓励幼儿创造性搭建运动场景，促进问题解决能力。

课程设计：采用“动作-认知双目标”模式。例如，在“动物模仿课”中，要求幼儿模仿青蛙连续跳跃(粗大动作)并计数跳跃次数(数感训练)，实现运动与认知目标的协同达成。

4. 结论

综上,动作发展与认知能力的交互作用根植于复杂的神经生理网络,而托幼机构的体育活动需从“一刀切”转向“精准化”,在儿童生理发展正常的前提下,通过分龄设计、科学评估与多维度支持,才能最大化运动对婴幼儿全面发展的促进作用,并为早期教育实践提供科学依据。

基金项目

本文获得北京青年政治学院研究课题“三全育人视域下北京高职院校学生心理健康现状调查及干预研究”(项目编号:MY202409)的支持。

参考文献

- 《中国人群身体活动指南》编写委员会(2021). *中国人群身体活动指南*. 人民卫生出版社.
- R·M·利伯特(1983). *发展心理学*(刘范 译, p. 8). 人民教育出版社.
- 董奇, 陶沙(2002). *动作与心理发展*. 北京师范大学出版社.
- 李红, 何磊(2003). 儿童早期的动作发展对认知发展的作用. *心理科学进展*, 11(3), 315-320.
- 吴升扣, 李俊峰, 文蕊香(2023). 3~5岁幼儿动作发展与认知能力发展的特征及相关性. *中国运动医学杂志*, 42(8), 606-614.
- 李清岚(2024). *4-5岁学前儿童粗大动作水平与早期学业能力的关系: 执行功能的中介作用*. 硕士学位论文, 济南: 山东师范大学.
- 柳倩, 曾睿(2018). 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. *全球教育展望*, 47(5), 94-112.
- 路毅, 邓文冲(2020). 不同运动方式对大脑结构及认知功能的调节作用及差异[J]. *中国组织工程研究*, 25(20), 3252-3258.
- 任园春, 赵琳琳, 王芳(2013). 不同大肌肉动作发展水平儿童体质、行为及认知功能特点. *北京体育大学学报*, 36(3), 79-84.
- 王垚(2023). *学前儿童精细动作能力与执行功能发展的关系研究*. 硕士学位论文, 上海: 华东师范大学.
- 王争艳, 邢晓沛(2019). *儿童发展*(pp. 1-2). 中国人民大学出版社.
- 武志俊, 王争艳, 王强(2021). 动作发展神经科学: 未来路径与布局. *中国科学: 生命科学*, 51(6), 619-633.
- 詹姆斯·卡拉特(2012). *生物心理学*第10版, 苏彦捷 译. 人民邮电出版社.
- 张长皓, 许巍, 申昆玲(2021). 世界卫生组织关于儿童身体活动和久坐行为指南解读. *中华实用儿科临床杂志*, 36(17), 1281-1284.
- Bear, M. E., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2004) *Neuroscience: Exploring the Brain* (2nd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Cunnington, R., Windischberger, C., & Moser, E. (2005). Premovement Activity of the Pre-Supplementary Motor Area and the Readiness for Action: Studies of Time-Resolved Event-Related Functional MRI. *Human Movement Science*, 24, 644-656. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2005.10.001>
- Krauzlis, R. J., & Lisberger, S. G. (1996). Directional Organization of Eye Movement and Visual Signals in the Floccular Lobe of the Monkey Cerebellum. *Experimental Brain Research*, 109, 289-302. <https://doi.org/10.1007/bf00231788>
- Lisberger, S. G. (2009). Internal Models of Eye Movement in the Floccular Complex of the Monkey Cerebellum. *Neuroscience*, 162, 763-776. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2009.03.059>
- Lund, S., & Pompeiano, O. (1968). Monosynaptic Excitation of Alpha Motoneurons from Spinal Structures in the Cat. *Acta Physiologica Scandinavica*, 73, 1-21. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1968.tb04075.x>
- Luu, P., Tucker, D. M., Derryberry, D., Reed, M., & Poulsen, C. (2003). Electrophysiological Responses to Errors and Feedback in the Process of Action Regulation. *Psychological Science*, 14, 47-53. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.01417>
- Rosengren, S. M. (2015). Effects of Muscle Contraction on Cervical Vestibular Evoked Myogenic Potentials in Normal Subjects. *Clinical Neurophysiology*, 126, 2198-2206. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2014.12.027>
- Schomburg, E. D., Steffens, H., & Dembowski, K. (2003). Rhythmic Phrenic, Intercostal and Sympathetic Activity in Relation

to Limb and Trunk Motor Activity in Spinal Cats. *Neuroscience Research*, 46, 229-240.

[https://doi.org/10.1016/s0168-0102\(03\)00062-2](https://doi.org/10.1016/s0168-0102(03)00062-2)

Shevtsova, N. A., Talpalar, A. E., Markin, S. N., Harris-Warrick, R. M., Kiehn, O., & Rybak, I. A. (2015). Organization of Left-Right Coordination of Neuronal Activity in the Mammalian Spinal Cord: Insights from Computational Modelling. *The Journal of Physiology*, 593, 2403-2426. <https://doi.org/10.1113/jp270121>

Truccolo, W., Hochberg, L. R., & Donoghue, J. P. (2010). Collective Dynamics in Human and Monkey Sensorimotor Cortex: Predicting Single Neuron Spikes. *Nature Neuroscience*, 13, 105-111. <https://doi.org/10.1038/nn.2455>

Windischberger, C., Cunnington, R., Lamm, C., Lanzenberger, R., Langenberger, H., Deecke, L. et al. (2008). Time-Resolved Analysis of fMRI Signal Changes Using Brain Activation Movies. *Journal of Neuroscience Methods*, 169, 222-230.

<https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2007.11.033>