

小学生体力活动与认知功能的关系：睡眠质量与体质健康的链式中介作用

何玮杰¹, 王 宁¹, 董怡帆¹, 洪晓彬^{1,2*}

¹武汉体育学院运动医学院, 湖北 武汉

²武汉体育学院运动训练监控湖北省重点实验室, 湖北 武汉

收稿日期: 2025年10月25日; 录用日期: 2025年11月20日; 发布日期: 2025年12月2日

摘 要

目的: 探讨睡眠质量与体质健康在小学生体力活动与认知功能之间的中介效应。方法: 采用调查法收集研究对象的体测数据; 采用青少年体力活动问卷(PAQ-A)、匹兹堡睡眠质量指数量表(PSQI)、瑞文推理测验(SPM)对江西省上饶市某小学的学生进行问卷调查, 共获得有效样本699份。结果: 相关分析显示体力活动、认知功能、睡眠质量和体质健康两者之间均显著相关; 认知功能显著正向预测体力活动; 睡眠质量在其中发挥部分中介作用; 体质健康在其中起中介作用; 同时, 睡眠质量与体质健康在体力活动与认知功能的关系中存在着链式中介作用的效应。结论: 体力活动不仅直接影响小学生的认知功能, 还能够通过改善睡眠质量提升体质健康, 进而促进认知功能发展。

关键词

小学生, 体力活动, 认知功能, 睡眠质量, 体质健康

The Relationship between Physical Activity and Cognitive Function in Elementary School Students: The Chain Mediating Effect of Sleep Quality and Physical Health

Weijie He¹, Ning Wang¹, Yifan Dong¹, Xiaobin Hong^{1,2*}

¹School of Sports Medicine, Wuhan Sports University, Wuhan Hubei

²Wuhan Institute of Physical Education Sports Training Monitoring Hubei Provincial Key Laboratory, Wuhan Hubei

Received: October 25, 2025; accepted: November 20, 2025; published: December 2, 2025

*通讯作者。

文章引用: 何玮杰, 王宁, 董怡帆, 洪晓彬(2025). 小学生体力活动与认知功能的关系: 睡眠质量与体质健康的链式中介作用. *心理学进展*, 15(12), 23-35. DOI: 10.12677/ap.2025.1512624

Abstract

Objective: To explore the mediating effects of sleep quality and physical fitness on the relationship between physical activity and cognitive function in primary school students. **Method:** Survey methods were used to collect physical measurement data of the research subjects; the Youth Physical Activity Questionnaire (PAQ-A), Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI), and Raven's Progressive Matrices (SPM) were used to conduct a questionnaire survey among students from a primary school in Shangrao, Jiangxi Province, collecting a total of 699 valid samples. **Results:** Correlation analysis showed that physical activity, cognitive function, sleep quality, and physical fitness were significantly correlated with each other; cognitive function significantly positively predicted physical activity; sleep quality played a partial mediating role in this relationship; physical fitness also played a mediating role; meanwhile, sleep quality and physical fitness had a chain mediating effect on the relationship between physical activity and cognitive function. **Conclusion:** Physical activity not only directly affects cognitive function in primary school students but also enhances physical fitness by improving sleep quality, thereby promoting the development of cognitive function.

Keywords

Primary School Students, Physical Activity, Cognitive Function, Sleep Quality, Physical Health

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. 引言

认知功能的发展对小学生心理健康和学业表现起着至关重要的作用。《中国儿童发展指南(2021)》将认知功能(Cognitive function)定义为个体对外界信息进行感知、加工、存储和运用的心理能力,包括注意力、记忆、执行功能(如计划、抑制控制)、逻辑思维、语言能力及空间认知等,是学习和社会适应的基础。在皮亚杰的认知发展理论中,小学生应该是处于具体运算阶段(Piaget, 1952)。这一阶段的儿童可以解决守恒问题,理解守恒的概念,而且已经初步地理解了逻辑概念,但是不能脱离具体的事物或实例,不能够进行凭空想象,虽然能够理解规则和原则但是只能刻板地遵守规则而不能改变。因此,探究促进小学生认知功能发展的机制,具有重要的现实意义。

体力活动与认知功能有着密切的关系。世界卫生组织(WHO)将体力活动(Physical activity)定义为由骨骼肌肉进行的任何需要消耗能量的身体运动;体力活动指所有的运动,包括在闲暇时间、往返某地的交通出行期间,或作为个人工作或家庭活动一部分的运动。有研究表明,体力活动可通过多种生理和神经机制直接影响小学生的认知功能,如增强神经可塑性,体力活动促进脑源性神经营养因子(BDNF)的分泌,BDNF支持神经元生长和突触可塑性,尤其在海马体和前额叶皮层(关键的记忆和执行功能区域)中表现显著(Donnelly et al., 2016);有氧运动可增加脑血流量,提高脑血管功能,优化大脑氧合和营养供应,从而增强认知表现(Chaddock-Heyman et al., 2016)。基于此,本研究提出假设1:体力活动可以正向预测小学生的认知功能。

睡眠质量(Sleep Quality)是一个多维度的概念,指个体对睡眠的主观体验和客观生理指标的综合性评估,包括睡眠的效率、连续性、深度以及日间功能影响等。研究表明,睡眠质量可能在体力活动与认知

功能关系中起着中介作用。Brand 等人(2010)的一项针对高运动水平与青少年的研究表明,运动调节昼夜节律(褪黑素分泌),改善睡眠深度(N3 阶段),进而增强记忆巩固,长期剧烈运动与青少年的睡眠和心理功能呈正相关,运动水平低的男性有睡眠抱怨增加和心理功能变差的风险(Brand et al., 2010)。基于此,本研究提出假设 2:睡眠质量在体力活动和认知功能的关系中起中介作用。

《国家学生体质健康标准》(教育部,2014 年修订)把体质健康(Physical fitness)定义为人体在先天遗传和后天获得基础上表现出的形态结构、生理功能、运动能力和心理适应能力的综合状态。世界卫生组织(WHO)发布的《2020 年运动和久坐行为指南》推荐 5~17 岁的儿童和青少年应该每天平均至少做 60 分钟的中-高强度运动,主要是有氧运动和体育锻炼;每周至少应该还有 3 天做剧烈的有氧运动,以及增强肌肉和骨骼的运动,儿童和青少年应该限制久坐时间,特别是在屏幕前的娱乐时间。体力活动是提高体质健康最常见的方式之一, Lee 和 Yau (2020)发现运动可以降低肥胖和胰岛素抵抗风险,减少神经炎症,保护海马体体积(Lee & Yau, 2020)。良好的心肺耐力(如肺活量、VO₂max)可以增加脑氧供应,促进前额叶和顶叶的功能连接(Chaddock-Heyman et al., 2016)。基于此,本研究提出假设 3:体质健康在体力活动和认知功能的关系中起中介作用。

睡眠质量和体质健康在体力活动和认知功能的关系中即可能起到单独中介作用也可能起到链式中介效应。睡眠质量与体质健康之间也存在着很强的相关性,但两者如何在体力活动和认知功能之间发挥中介作用还需进一步的研究。一项对大学生睡眠质量现状与体质健康相关的研究表明,大学生的睡眠状况令人担忧,31.14%的大学生有睡眠质量问题,睡眠质量与大学生的体质健康水平呈强相关(章茹,王艳玲,2012)。Donnelly 等人(2016)的研究提出了“运动→睡眠→体质→认知”的整合模型,验证睡眠效率与心肺适能的协同中介效应(Donnelly et al., 2016)。基于此,本研究提出假设 4:睡眠质量和体质健康在体力活动和认知功能的关系中起链式中介作用。

本研究以小学生为研究对象,体力活动为自变量,认知功能为因变量,睡眠质量和体质健康为中介变量,探究小学生体力活动水平和认知功能之间的关系,并研究睡眠质量和体质健康对小学生体力活动对认知功能的影响的链式中介作用。从小学生体力活动不足的角度出发,聚焦于提高小学生体力活动方案,为进一步提高小学生睡眠质量和体质健康水平提供科学建议。更加全面地探究提升认知功能和加强全面发展的体力活动策略。

2. 方法

2.1. 研究对象

选取江西省上饶市某小学的一年级至六年级学生作为调查对象,被试填写问卷前已知本次问卷填写信息用于研究,个人信息会加以保密,共发放 756 份纸质问卷,回收 756 份,剔除无效问卷 57 份,问卷有效率为 92.46%。

无效问卷标准:有特殊原因不能参加正常的体育活动中、患有疾病者、因精神障碍不能参与体质健康检测者、明显随意填写问卷者。

本次调查共收集有效问卷 699 份,各年级人数大体相近,一年级 100 人;二年级 121 人;三年级 129 人;四年级 124 人;五年级 109 人六年级 173 人。总体上男生人数略多于女生,男生 392 人;女生 307 人。

2.2. 研究工具

2.2.1. 调查法

体质健康测试依据《国家学生体质健康标准(2014 年修订)》(以下简称《标准》)的测试要求,对调研

的小学生的体质健康状况进行测量,如身高、体重、肺活量、50米短跑、坐位体前屈、一分钟跳绳和立定跳远等。根据学生年级,选择性地进行一分钟仰卧起坐、立定跳远、引体向上、1000米或800米跑等项目的测试。根据国家体质健康评定标准,通过权重计算得到体质健康总分。最终,由接受专业训练的学校工作人员负责收集和录入体质健康测试数据。

2.2.2. 青少年体力活动问卷(PAQ-A)

青少年体力活动问卷(Physical Activity Questionnaire for Adolescents, PAQ-A)是一种广泛应用于评估青少年身体活动水平的自评工具(Telford et al., 2004)。问卷共包含8个计分题和1个筛选题,采用4级计分(1 = “几乎没有活动”至4 = “非常活跃”),通过评估小学生过去一周内课余活动、体育课参与、户外游戏等多项体力活动情况,综合计算其体力活动水平总分。根据得分将体力活动划分为三个等级:低强度($PAQ \leq 2$)、中强度($2 < PAQ < 3$)和高强度($PAQ \geq 3$)。本研究采用李新等人(2015)修订的中文版PAQ-A,该版本在保留原问卷核心结构的基础上,结合中国青少年的活动特点进行了本土化调整,具有良好的信效度(李新等, 2015)。

2.2.3. 匹兹堡睡眠质量指数量表(PSQI)

匹兹堡睡眠质量指数量表(Pittsburgh Sleep Quality Index, PSQI)是评估个体睡眠质量使用较多、较为经典的工具,由Buysse等人于1989年编制,后经刘贤臣等引入中国并完成本土化修订,具有良好的信效度,使之更贴合国内人群的需求(刘贤臣等, 1996)。本研究采用中文版PSQI,结合小学生的身心发展特点对部分条目表述进行了适应性调整,以更准确地评估该群体的睡眠状况。PSQI共包含7个睡眠因子:主观睡眠质量、入睡时间、睡眠时长、睡眠效率、睡眠障碍、催眠药物使用和日间功能障碍,能够准确反映受测者过去一个月的睡眠习惯。每个因子按0~3分计分,总分范围为0~21分,分数越高表明睡眠质量越差。根据临床常用标准,总分 > 7 分提示存在睡眠质量问题(Buysse et al., 1989)。

2.2.4. 瑞文推理测验(SPM)

瑞文标准推理测验(Raven's Standard Progressive Matrices, SPM)是由英国心理学家J.C. Raven于1938年编制的非语言智力测验工具,能有效地评估个体的智力水平,被广泛应用于评估个体的推理能力和认知功能,且具有较高的信度和效度(Raven, 2000)。本研究采用SPM作为小学生认知功能的测量工具,并根据该年龄段儿童的心理发展特点对施测方式进行了适当调整。SPM共包含60道题目,分为A、B、C、D、E五个系列,各12题,难度逐级递增。A系列:测量知觉辨别能力;B系列:评估类同比较能力;C系列:测试比较推理能力;D系列:考察关系推理能力;E系列:检测抽象推理能力。

2.3. 数据处理

问卷回收并提出无效问卷后,根据各量表的评分标准得出每位研究对象的原始数据。将得到的原始数据存储在Microsoft Excel中,建立数据库。数据分析的工具使用IBM SPSS Statistics 19,采用Harman单因子检验法、单因素方差分析、独立样本t检验、回归分析、相关分析和中介效应检验,显著性水平设置为 $p < 0.05$,极显著性水平为 $p < 0.01$ 。

3. 研究结果

3.1. 共同方法偏差检验

为避免研究中主观性对结果准确性产生影响,采取Harman单因子检验法对样本数据进行共同方法偏差检验,对所有测量项目进行探索性因子分析。分析结果显示,首个因子解释的总方差比率为27.03%,低于40%的标准阈值,表明本研究的数据未受到严重的共同方法偏差的影响。

3.2. 各变量在性别和年级上的差异

从性别差异来看，表 1 的体力活动性别差异分析结果显示，男生(n = 392)与女生(n = 307)在体力活动水平上存在显著差异($t = 1.99, p < 0.05$)，男生的体力活动得分(2.99 ± 0.49)略高于女生(2.91 ± 0.54)；而在认知功能、睡眠质量、体质健康维度上，男女生的得分差异均未达到统计学显著水平(t 值分别为 1.24、0.96、-0.83, $p > 0.05$)。在年级差异方面，表 2 的体力活动年级差异分析结果表明，不同年级学生在体力活动、认知功能、睡眠质量、体质健康四个变量上均存在极显著的年级差异(F 值分别为 17.08、52.75、47.85、25.99, 均 $p < 0.001$)。例如，体力活动得分在二年级(3.29 ± 0.39)和六年级(3.03 ± 0.56)相对较高，而四年级(2.78 ± 0.46)和五年级(2.79 ± 0.46)得分较低；认知功能得分则呈现随年级升高而上升的趋势，六年级得分(42.22 ± 5.11)显著高于低年级(如一年级 35.78 ± 3.84)。

Table 1. Analysis of gender differences in physical activity
表 1. 体力活动的性别差异分析

	组别(M ± SD)		t
	男(n = 392)	女(n = 307)	
体力活动	2.99 ± 0.49	2.91 ± 0.54	1.99*
认知功能	39.47 ± 2.76	38.93 ± 5.55	1.24
睡眠质量	3.69 ± 1.67	3.56 ± 1.87	0.96
体质健康	84.44 ± 3.82	84.67 ± 3.21	-0.83

注：* $p < 0.05$ ，** $p < 0.01$ ，*** $p < 0.001$ 。下同。

Table 2. Analysis of grade differences in physical activity
表 2. 体力活动的年级差异分析

	组别(M ± SD)						F
	一年级 (n = 85)	二年级 (n = 107)	三年级 (n = 107)	四年级 (n = 107)	五年级 (n = 107)	六年级 (n = 107)	
体力活动	2.84 ± 0.48	3.29 ± 0.39	2.96 ± 0.51	2.78 ± 0.46	2.79 ± 0.46	3.03 ± 0.56	17.08***
认知功能	35.78 ± 3.84	36.26 ± 3.72	39.07 ± 5.96	39.79 ± 6.43	39.81 ± 5.33	42.22 ± 5.11	52.75***
睡眠质量	2.28 ± 1.61	2.28 ± 1.20	3.62 ± 1.51	4.63 ± 1.65	4.37 ± 1.72	4.05 ± 1.64	47.85***
体质健康	82.01 ± 5.11	87.77 ± 3.46	84.86 ± 2.90	84.36 ± 1.48	86.01 ± 1.62	82.75 ± 2.96	25.99***

3.3. 小学生体力活动现状

统计青少年体力活动问卷(PAQ-A)收集的数据后，得出：参与中强度和高强度体力活动的学生人数相近，中强度占比 48.35% (338 人)，高强度占比 47.78% (334 人)，低强度体力活动水平占比较低。以性别为分组变量，对体力活动分数进行独立样本 t 检验，得出 $p = 0.047 < 0.05$ ，说明在体力活动的得分上，男生和女生之间存在显著的差异。以年级为因子，体力活动分数为因变量进行单因素 ANOVA 检验，得出 $p = 0.000 < 0.05$ ，说明不同年级在总分上具有显著性差异。体力活动得分均值二年级得分最高，其他五个

年级得分均值相近。

3.4. 小学生认知功能现状

本次研究被试共有 699 人，其中男生 392 人，女生 307 人。男生认知能力平均得分 39.47 ± 5.762 分，女生认知能力平均得分 38.93 ± 5.552 分。以性别为分组变量，对认知功能分数进行独立样本 t 检验，得出 $p = 0.214 > 0.05$ ，说明在认知能力的得分上，男生和女生之间不存在显著的差异。以年级为因子，认知功能分数为因变量进行单因素 ANOVA 检验，得出 $p = 0.000 < 0.05$ ，说明不同年级在总分上具有显著性差异。认知功能得分均值从一年级到六年级呈上升趋势，六年级得分最高，说明小学生的认知能力是随年级的升高而提高的。

3.5. 小学生睡眠质量现状

通过对匹兹堡睡眠质量指数表(PSQI)的得分分析，可知小学生 PSQI 睡眠质量总分平均值为 3.64 ± 1.756 (最低分为 0 分，最高分为 11 分)。大多数小学生的整体睡眠质量位于中上水平，而且他们大多能满足推荐的睡眠时长，很少依赖药物来促进睡眠。通过对不同性别学生的睡眠质量总评分实施独立样本 t 检验，得出 $p = 0.340 > 0.05$ ，说明在睡眠质量的得分上，男生和女生之间不存在显著的差异。男生睡眠质量平均分为 3.69 ± 1.665 分，女生睡眠质量平均分为 3.56 ± 1.886 分。将不同年级的睡眠质量总分进行单因素 ANOVA 检验，得出 $p = 0.000 < 0.05$ ，说明不同年级在总分上具有显著性差异，睡眠质量得分均值四年级得分最高，一、二年级得分均值一致，都是最低，说明一、二年级睡眠质量最高，四年级睡眠质量最差。

3.6. 小学生体质健康现状

依据《国家学生体质健康标准(2014 年修订)》和收集到的学生体测数据得出学生健康总分。根据指标和测试结果可知：学生总体体质水平中上，优良率所占比例为 90.13%。在对小学生的体质测试成绩进行分级后发现，体质测试等级优秀的人数仅占 3.15%，体质测试等级为及格的人数占 9.9%，大多数学生的体质健康都是良好，但是优秀等级的人数太少，加强小学生体质健康的问题仍值得重视。

独立样本 t 检验表明，男女小学生在体质健康测试总成绩上不存在显著差异($p > 0.05$)，男生体质健康平均分为 84.44 ± 3.82 分，女生体质健康平均分为 84.67 ± 3.21 分。将不同年级的体质测试总分进行单因素 ANOVA 检验，发现不同年级在总分上具有显著性差异，六个年级中，二年级的体质健康测试平均成绩最高，一年级和六年级的平均成绩较低，说明一年级和六年级的身体素质有待提高。

3.7. 小学生体力活动水平、睡眠质量、体质健康、认知功能的相关分析

本研究通过使用 IBM SPSS Statistics 19，采用斯皮尔曼相关分析，得到表 3。从表 3 中可以看出体力活动、认知功能、体质健康、睡眠质量之间存在显著相关。

Table 3. Correlation analysis of variables

表 3. 各变量相关分析

	体质健康	睡眠质量	体力活动	认知功能
体质健康	1.000			
睡眠质量	-0.108**	1.000		
体力活动	0.253**	-0.130**	1.000	
认知功能	0.033**	-0.134**	0.297**	1.000

3.8. 中介效应检验

3.8.1. 睡眠质量中介效应

依据研究假设,使用 SPSS 软件的 PROCESS 插件中的模型 4 分析,在 5000 次重复抽样基础上计算 95%置信区间,分析睡眠质量在体力活动和认知能力之间的中介作用,可知认知功能显著正向预测体力活动($\beta = 0.283, p < 0.001$),当引入睡眠质量这个中介变量后,认知功能仍然显著正向预测体力活动($\beta = 0.291, p < 0.001$)。体力活动显著负向预测睡眠质量($\beta = -0.377, p < 0.05$)。睡眠质量显著负向预测认知功能($\beta = -0.230, p < 0.05$)。

由表 4 的中介效应分析结果可知,总效应值为 3.200,上下限为[2.481, 3.920],不包含 0,说明总效应显著;直接效应值为 3.113,上下限为[2.390, 3.837],不包含 0,说明直接效应显著;间接(中介)效应值为 0.087,上下限为[0.036, 0.228],不包含 0,说明间接(中介)效应显著。

Table 4. Bootstrap test of the mediating effect of sleep quality between physical activity and cognitive function

表 4. 睡眠质量在体力活动与认知功能之间的中介效应的 Bootstrap 检验

	Effect	SE	95%置信区间	
			BootLLCI	BootULCI
总效应	3.200	0.367	2.481	3.920
直接效应	3.113	0.369	2.390	3.837
间接效应	0.087	0.067	0.036	0.228

综上,可知睡眠质量在体力活动与认知功能之间起部分中介效应,该结果验证假设,睡眠质量在体力活动与认知功能之间起中介作用。睡眠质量在体力活动对认知功能的影响路径如图 1 所示。

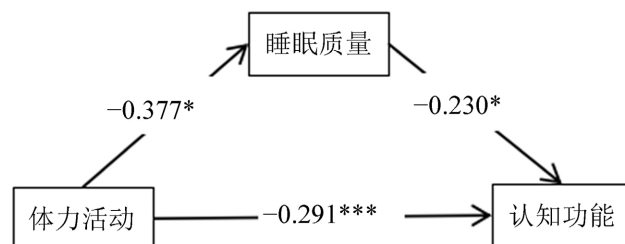


Figure 1. Path diagram of sleep quality mediating the relationship between physical activity and cognitive function

图 1. 睡眠质量在体力活动与认知功能中介作用路径图

3.8.2. 体质健康中介效应

依据研究假设,使用 SPSS 软件的 PROCESS 插件中的模型 4 分析,在 5000 次重复抽样基础上计算 95%置信区间,分析体质健康在体力活动和认知能力之间的中介作用,可知认知功能显著正向预测体力活动($\beta = 0.291, p < 0.001$),当引入体质健康这个中介变量后,认知功能仍然显著正向预测体力活动($\beta = 0.278, p < 0.001$)。体力活动显著正向预测体质健康($\beta = 0.254, p < 0.001$)。体质健康显著正向预测认知功能($\beta = 0.782, p < 0.001$)。

由表 5 的中介效应分析结果可知,总效应值为 3.200,上下限为[2.481, 3.920],不包含 0,说明总效应显著;直接效应值为 3.063,上下限为[2.319, 3.807],不包含 0,说明直接效应显著;间接(中介)效应值为 0.138,上下限为[0.030, 0.318],不包含 0,说明间接(中介)效应显著。

Table 5. Bootstrap test of the mediating effect of physical fitness on the relationship between physical activity and cognitive function

表 5. 体质健康在体力活动与认知功能之间的中介效应的 Bootstrap 检验

	Effect	SE	95%置信区间	
			BootLLCI	BootULCI
总效应	3.200	0.367	2.481	3.920
直接效应	3.063	0.379	2.319	3.807
间接效应	0.138	0.089	0.030	0.318

综上，可知体质健康在体力活动与认知功能之间起部分中介效应，该结果验证假设体质健康在体力活动与认知功能之间起中介作用。体质健康在体力活动对认知功能的影响路径如图 2 所示。

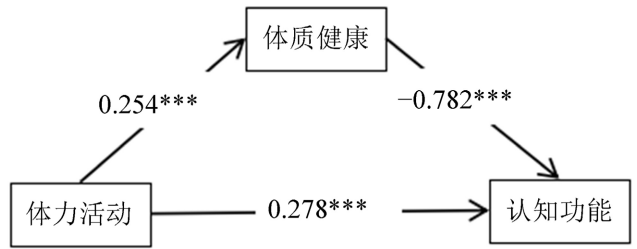


Figure 2. Path diagram of the mediating role of physical fitness in physical activity and cognitive function

图 2. 体质健康在体力活动与认知功能中介作用路径图

3.8.3. 睡眠质量与体质健康的链式中介效应

依据研究假设，分析体质健康在体力活动和认知能力之间的中介作用，运用 SPSS 软件的 PROCESS 插件进行多元分层回归分析，以体力活动为自变量，以认知功能为因变量，睡眠质量与体质健康为中介变量，采用模型 6，在 5000 次重复抽样基础上计算 95%置信区间，探讨睡眠质量和体质健康在体力活动与认知功能之间的中介效应。结果见表 6。

Table 6. Regression analysis of the mediating effect of sleep quality and physical health in the model

表 6. 睡眠质量、体质健康在模型里中介效应的回归分析

回归方程		拟合指标			回归系数显著性	
结果变量	预测变量	R	R ²	F	β	t
认知功能		0.481	0.231	104.612		
	体力活动				0.291	8.732***
睡眠质量		0.420	0.177	74.601		
	体力活动				-0.377	-3.213**
体质健康		0.284	0.081	20.343		
	体力活动				0.251	6.841***
认知功能	睡眠质量				-0.057	-0.705
		0.487	0.237	53.995		
	体力活动				0.271	7.841***
	睡眠质量				-0.225	-1.907*
	体质健康				0.075	1.370

由上表可知：体力活动显著正向预测认知功能($\beta = 0.291, p < 0.001$)。引入睡眠质量和体质健康两个中介变量后，体力活动显著负向预测睡眠质量($\beta = -0.377, p < 0.01$)，体力活动显著正向预测体质健康($\beta = 0.251, p < 0.001$)，体质健康显著正向影响认知功能($\beta = 0.271, p < 0.001$)，睡眠质量分数显著负向预测认知功能($\beta = -0.225, p < 0.05$)。

由表 7 可知，总效应值为 3.200，上下限为[2.481, 3.920]，不包含 0，说明总效应显著，在未引入中介变量时体力活动对认知功能的总效应显著。直接效应值为 2.983，上下限为[2.236, 3.730]，不包含 0，说明在此中介模型中，体力活动对认知功能的直接效应显著。总间接效应的值为 0.217，上下限为[0.008, 0.446]，不包含 0，说明总间接效应显著。中介作用具体通过三条路径产生：第一，体力活动→睡眠质量→认知功能，间接效应值为 0.133，上下限为[0.031, 0.319]，不包含 0，表明睡眠质量中介作用显著；第二，体力活动→体质健康→认知功能，其间接效应值为 0.080，上下限为[-0.032, 0.223]，包含 0，表明体质健康的中介作用不显著；第三，体力活动→睡眠质量→体质健康→认知功能，间接效应值为 0.005，上下限为[0.006, 0.026]，不包含 0，表明睡眠质量和体质健康在体力活动和认知功能的关系之间起链式中介作用。综上，本研究假设睡眠质量和体质健康在体力活动与认知功能之间起中介作用得到验证，睡眠质量和体质健康在体力活动对认知功能的影响路径如图 3 所示。

Table 7. Bootstrap test of the mediating effect of sleep quality and physical health in the model

表 7. 睡眠质量、体质健康在模型里中介效应的 Bootstrap 检验

	Effect	SE	95%置信区间	
			BootLLCI	BootULCI
总效应	3.200	0.366	2.481	3.920
直接效应	2.983	0.380	2.236	3.730
总间接效应	0.217	0.112	0.008	0.446
Ind1	0.133	0.089	0.031	0.319
Ind2	0.080	0.065	-0.032	0.223
Ind3	0.005	0.008	0.006	0.026

注：Ind1：体力活动→睡眠质量→认知功能；Ind2：体力活动→体质健康→认知功能；Ind3：体力活动→睡眠质量→体质健康→认知功能。

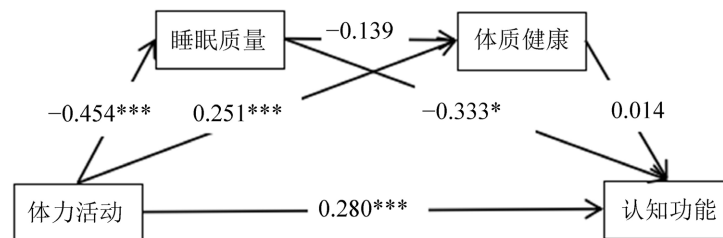


Figure 3. The chain mediating effect of sleep quality and physical health between physical activity and cognitive function

图 3. 睡眠质量、体质健康在体力活动和认知功能之间的链式中介作用

4. 讨论

4.1. 体力活动和认知功能的关系

本研究聚焦于小学生群体，证实了体力活动对其认知功能具有显著的正向预测作用，研究结果支持

假设 1。这一发现与已有的生理机制研究相呼应,即体力活动可能通过促进脑源性神经营养因子(BDNF)分泌、增加脑血流量等途径,直接优化大脑结构与功能,特别是海马体和前额叶皮层等与学习记忆、执行功能密切相关的脑区(Donnelly et al., 2016; Chaddock-Heyman et al., 2016)。更重要的是,本研究超越了简单的直接关系,揭示了体力活动影响认知功能的多条间接路径:睡眠质量的单独中介、体质健康的单独中介,以及睡眠质量与体质健康的链式中介。这表明体力活动对认知功能的促进作用是一个复杂的过程,既直接作用于神经系统,也通过改善体质健康和睡眠质量间接实现。这一多重路径的发现,极大地丰富了对小学生认知功能发展机制的理解,为设计多维度的干预方案提供了坚实的理论依据。

4.2. 睡眠质量的中介作用

由上述分析结果可知,睡眠质量在体力活动与认知功能之间起部分中介作用,研究结果支持假设 2。体力活动可通过增加褪黑素分泌,减少睡眠抱怨和心理功能变差的风险等。研究表明,体力活动(PA)被认为是改善睡眠的有效非药物方法,主观和客观 PA 较高的青少年更有可能在主观和客观上体验到良好的睡眠(Lang et al., 2016)。睡眠是人类生存必不可少的活动,而高质量的睡眠,特别是足够的睡眠时长与深度睡眠,对于记忆巩固、突触稳态的维持以及清除大脑代谢废物至关重要(Galván, 2020)。

睡眠质量与认知功能之间联系密切,有篇分析学龄儿童睡眠质量和认知功能关系的国外文献系统总结了所有报告健康学龄儿童(5~12 岁)睡眠、认知和行为问题的相关研究,涉及 35,936 名儿童,得出:睡眠持续时间与认知能力呈显著正相关,儿童睡眠不足与高阶和复杂认知功能的缺陷以及行为问题的增加有关(Astill et al., 2012)。大脑结构、功能和睡眠生理学的神经发育变化在机制上将睡眠与认知能力之间的关系联系起来(Galván, 2020)。在当前学业压力日益低龄化的背景下,小学生的睡眠时间与质量易受挤压。本研究结果警示,牺牲睡眠以换取学习时间的做法可能适得其反,因为睡眠不足会特异性损害高阶认知功能,如复杂问题的解决能力和情绪调节能力(Killgore, 2010)。因此,将保证充足睡眠和鼓励体力活动相结合,是提升小学生日间学习状态和认知表现的双赢策略。

4.3. 体质健康的中介作用

本研究发现体质健康在体力活动与认知功能之间存在部分中介效应,说明假设 3 成立。体力活动水平越高,身体素质也会得到提升,在日常的生活和学习中会更加的有活力,从而反向加强体力活动水平,提高认知功能。一项花样跳绳运动对 9~10 岁小学生体质健康与认知功能影响的研究表明,12 周花样跳绳运动增强了小学生的心肺功能,提高了小学生柔韧、协调、耐力、平衡等身体素质,并且对小学生复杂的认知处理速度、空间位置记忆广度值、学习新联系能力、短时记忆力和注意力都产生非常显著的效果(张然然, 2020),这与一项拉丁舞训练对 7~8 岁小学生体质健康与认知功能影响的研究也得到了类似的结果(张心月, 2022)。在身体活动与健康状况之间似乎存在线性关系,因此身体活动和健康状况的进一步增加将导致健康状况的额外改善(Warburton et al., 2006)。有研究表明,体育活动对儿童发育过程中大脑健康起着非常重要的作用,研究中参加体育活动计划的儿童表现出胼胝体膝部白质微观结构增加,胼胝体整合了大脑左右半球之间的认知、运动和感觉信息,白质束在认知和行为中发挥作用(Chaddock-Heyman et al., 2018)。良好的心肺功能可以优化大脑的氧合与营养供应,并促进不同脑区(如前额叶与顶叶)间的功能连接(Chaddock-Heyman et al., 2016)。本研究中的相关分析也显示,体力活动与体质健康呈显著正相关。然而,在链式中介模型中,体质健康的单独中介路径变得不显著。一个可能的解释是,在同时考虑睡眠质量和体质健康时,睡眠质量对认知功能的即时性影响可能更强,或者说,体质健康对认知功能的促进作用,有一部分需要以良好的睡眠作为基础或协同条件。另一个可能的解释是,本研究的体质健康测量指标虽然全面,但可能未能完全捕捉到与认知功能关联最紧密的核心要素(如最大摄氧量 VO_{2max})。综上

所述,本研究证实了体质健康在体力活动与认知功能之间存在着中介作用,为小学生认知功能的发展提供了一个可行的方向,也在未来的研究中提供了新的方向,需要采用更精确的生理指标来进一步厘清体质健康在这一复杂模型中的独特贡献。

4.4. 睡眠质量和体质健康的链式中介作用

本研究的核心发现之一是睡眠质量和体质健康在体力活动与认知功能之间存在链式中介效应,支持了假设4。这条“体力活动→睡眠质量→体质健康→认知功能”的路径,揭示了一个动态的、序列性的影响过程。这一发现与 Donnelly 等人(2016)提出的整合模型相契合。其内在逻辑可能是:规律的体力活动首先有助于规整昼夜节律,提升睡眠深度与效率(Dolezal et al., 2017);而高质量的睡眠则能通过调节内分泌(如降低皮质醇、平衡瘦素与胃饥饿素)和减少炎症反应,为身体恢复、能量储备和代谢健康创造有利条件(Taheri et al., 2004; Spiegel, 2005),从而促进体质健康的提升;最终,一个拥有良好睡眠和强健体魄的个体,其大脑能够在一个更稳定、更高效的状态下运行,认知功能自然得到促进。适当的体力活动可以通过消耗能量、增加分泌褪黑素等方式来提高睡眠质量,而充足的睡眠会给予个体充沛的能量去进行体力活动,为体质健康的提升提供足够的身体条件,体力活动的水平提高有助于正向影响认知功能。体力活动可以维持和改善神经认知健康,体力活动可以提升心肺适能,间接促进脑血流和 BDNF 分泌,从而改善认知功能(Stillman et al., 2016)。良好的体质健康水平和认知功能的完善对于小学生来说是至关重要的,这为他们日后全面发展打下夯实的基础,不仅限于体质健康和认知功能,还有学业成绩、运动表现、日间状态等,都有着深远的影响。这条链式路径强调了睡眠与体质健康并非孤立地发挥作用,而是相互依存、环环相扣。它提示我们,在制定促进认知发展的策略时,应采取一种整体性的视角,将体力活动、睡眠管理和体质提升视为一个不可分割的协同系统。

4.5. 研究意义

随着教育竞争的日益激烈,小学生也面临着来自家庭、学校和社会的多重压力。尽管小学生作为义务教育的起点,但近年来,低龄化的竞争趋势使得小学生的课外补习、兴趣班等参与程度显著上升。与此同时,城市化和家庭经济条件改善使得家长更倾向于为孩子安排各类校外活动,以提高其综合素质。然而,这些活动和课外补习也在无形中压缩了小学生的睡眠时间和体力活动机会,进而影响其体质健康和认知发展。所以在关注学生体质健康发展和认知功能提高时,需要考虑校园以外因素的影响,比如家庭和社会对小学生的影响。家庭成员的支持和认可,可以提高小学生的睡眠质量,养成良好的睡眠习惯,有更多的机会和条件参加体力活动来提高体质健康水平;社会提供的帮助和体育设施,给了小学生更大的舞台和空间参加体力活动,培养体力活动的好习惯,改善体质健康水平。本研究揭示的链式中介机制进一步表明,家庭、学校和社会在制定健康促进政策时,需要打破“只关注单一因素”的思维定式,转而推行整合性的健康生活倡导,将鼓励运动、保障睡眠和增强体质有机结合,从而最有效地为小学生的认知发展与全面成长保驾护航。

5. 研究局限与未来展望

5.1. 研究设计的局限

本研究采用横断面调查,虽然能够揭示变量间的相关关系和中介路径,但无法确立严格的因果关系。例如,我们无法断定是体力活动改善了睡眠,还是睡眠好的儿童更倾向于参与体力活动。未来的研究应采用纵向追踪设计或实验干预研究(如随机对照试验),通过长期随访或操纵体力活动水平,来更准确地检验变量间的因果方向与长期效应。

5.2. 测量工具的局限

一方面是主观测量,本研究主要依赖问卷(PAQ-A, PSQI)和标准化测验(SPM)来测量体力活动、睡眠质量和认知功能,这些工具虽经广泛使用且信效度良好,但仍存在主观报告偏差和社会赞许性效应的风险。另一方面是体质健康指标,体质健康的测量基于国家标准,但可能未能完全涵盖与认知功能关联最紧密的神经生理机制,如最大摄氧量(VO_{2max})等精确的心肺功能指标。

5.3. 样本的局限

本研究样本来自同一地区的单一小学,样本的代表性可能受限。不同地区、不同社会经济背景、不同校园文化下的学生,其体力活动模式、睡眠习惯及认知发展轨迹可能存在差异。未来研究应在更广范围内进行多中心抽样,并考察城乡差异、家庭社会经济地位等调节变量,以增强研究结论的普适性。

5.4. 未来展望

未来研究可引入客观测量工具,如加速度计来精确记录体力活动水平和睡眠参数,采用功能性近红外光谱(fNIRS)或磁共振成像(MRI)技术探查大脑结构与功能的变化,并纳入更精细的生理指标(如 BDNF 水平、心率变异性),从而多维度、更精确地揭示其内在机制。

在链式中介模型中,“体力活动→体质健康→认知功能”的单独路径不显著,这是一个值得深入探讨的发现。未来研究应致力于检验是否存在其他未纳入的中介变量,可能影响了体质健康中介效应的显现。探索体质健康的不同维度是否对特定认知领域有差异化的预测作用。或是采用更敏感的认知测验和更精确的体质测量,以捕捉可能存在的微弱但真实的关系。

综上所述,未来研究应在改进设计、优化测量、扩大样本的基础上,进一步探索影响小学生认知功能的复杂网络机制,并为制定科学、有效、个性化的教育与健康促进策略提供更具针对性的实证依据。

基金项目

中国教育学会教育科研体育与卫生专项课题一般课题“6~14岁儿童青少年体力活动特征及其与体质健康、认知能力的关联性研究”(21TY173122ZB)。湖北省教育科学规划重点课题(2024GA046)。

参考文献

- 李新,王艳,李晓彤,李东峰,孙春,谢敏豪,王正珍(2015). 青少年体力活动问卷(PAQ-A)中文版的修订及信效度研究. *北京体育大学学报*, 38(5), 63-67.
- 刘贤臣,唐茂芹,胡蕾,王爱祯,吴宏新,赵贵芳,李万顺(1996). 匹兹堡睡眠质量指数的信度和效度研究. *中华精神科杂志*, (2), 103-107.
- 张然然(2020). *花样跳绳运动对9-10岁小学生体质健康与认知功能影响的研究*. 硕士学位论文,北京:首都体育学院.
- 张心月(2022). *拉丁舞训练对7-8岁小学生体质健康与认知功能影响的研究*. 硕士学位论文,北京:首都体育学院.
- 章茹,王艳玲(2012). 当代大学生睡眠质量现状及与体质健康相关性的研究. *江苏技术师范学院学报*, 18(4), 83-86+143.
- Astill, R. G., Van der Heijden, K. B., Van IJzendoorn, M. H., & Van Someren, E. J. W. (2012). Sleep, Cognition, and Behavioral Problems in School-Age Children: A Century of Research Meta-Analyzed. *Psychological Bulletin*, 138, 1109-1138. <https://doi.org/10.1037/a0028204>
- Brand, S., Gerber, M., Beck, J., Hatzinger, M., Pühse, U., & Holsboer-Trachsler, E. (2010). High Exercise Levels Are Related to Favorable Sleep Patterns and Psychological Functioning in Adolescents: A Comparison of Athletes and Controls. *Journal of Adolescent Health*, 46, 133-141. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2009.06.018>
- Buysse, D. J., Reynolds, C. F., Monk, T. H., Berman, S. R., & Kupfer, D. J. (1989). The Pittsburgh Sleep Quality Index: A New Instrument for Psychiatric Practice and Research. *Psychiatry Research*, 28, 193-213.

- [https://doi.org/10.1016/0165-1781\(89\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0165-1781(89)90047-4)
- Chaddock-Heyman, L., Erickson, K. I., Chappell, M. A., Johnson, C. L., Kienzler, C., Knecht, A. et al. (2016). Aerobic Fitness Is Associated with Greater Hippocampal Cerebral Blood Flow in Children. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 20, 52-58. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2016.07.001>
- Chaddock-Heyman, L., Erickson, K. I., Kienzler, C., Drollette, E. S., Raine, L. B., Kao, S. et al. (2018). Physical Activity Increases White Matter Microstructure in Children. *Frontiers in Neuroscience*, 12, Article No. 950. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00950>
- Dolezal, B. A., Neufeld, E. V., Boland, D. M., Martin, J. L., & Cooper, C. B. (2017). Interrelationship between Sleep and Exercise: A Systematic Review. *Advances in Preventive Medicine*, 2017, Article ID: 1364387. <https://doi.org/10.1155/2017/1364387>
- Donnelly, J. E., Hillman, C. H., Castelli, D., Etnier, J. L., Lee, S., Tomporowski, P. et al. (2016). Physical Activity, Fitness, Cognitive Function, and Academic Achievement in Children. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48, 1197-1222. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000000901>
- Galván, A. (2020). The Need for Sleep in the Adolescent Brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 24, 79-89. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.11.002>
- Killgore, W. D. S. (2010). Effects of Sleep Deprivation on Cognition. *Progress in Brain Research*, 185, 105-129. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-53702-7.00007-5>
- Lang, C., Kalak, N., Brand, S., Holsboer-Trachsler, E., Pühse, U., & Gerber, M. (2016). The Relationship between Physical Activity and Sleep from Mid Adolescence to Early Adulthood. A Systematic Review of Methodological Approaches and Meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews*, 28, 32-45. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2015.07.004>
- Lee, T. H., & Yau, S. (2020). From Obesity to Hippocampal Neurodegeneration: Pathogenesis and Non-Pharmacological Interventions. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 201. <https://doi.org/10.3390/ijms22010201>
- Piaget, J. (1952). *The Origins of Intelligence in Children* (M. Cook, Trans.). W W Norton & Co.
- Raven, J. (2000). The Raven's Progressive Matrices: Change and Stability over Culture and Time. *Cognitive Psychology*, 41, 1-48. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0735>
- Spiegel, K., Knutson, K., Leproult, R., Tasali, E., & Van Cauter, E. (2005) Sleep Loss: A Novel Risk Factor for Insulin Resistance and Type 2 Diabetes. *Journal of Applied Physiology*, 99, 2008-2019.
- Stillman, C. M., Cohen, J., Lehman, M. E., & Erickson, K. I. (2016). Mediators of Physical Activity on Neurocognitive Function: A Review at Multiple Levels of Analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, Article ID: 626. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00626>
- Taheri, S., Lin, L., Austin, D., Young, T., & Mignot, E. (2004). Short Sleep Duration Is Associated with Reduced Leptin, Elevated Ghrelin, and Increased Body Mass Index. *PLOS Medicine*, 1, e62. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0010062>
- Telford, A., Salmon, J., Jolley, D., & Crawford, D. (2004). Reliability and Validity of Physical Activity Questionnaires for Children: The Children's Leisure Activities Study Survey (Class). *Pediatric Exercise Science*, 16, 64-78. <https://doi.org/10.1123/pes.16.1.64>
- Warburton, D. E., Nicol, C. W., & Bredin, S. S. (2006). Health Benefits of Physical Activity: The Evidence. *Canadian Medical Association Journal*, 174, 801-809. <https://doi.org/10.1503/cmaj.051351>