

·运动人体科学·

24小时活动行为对学龄前儿童执行功能影响的成分等时替代效益研究

胥祉涵^{1,2}, 王世强^{1,2}, 余澳林^{1,2}, 陈昱欣^{1,2}, 肖顺英^{1,2}, 马梓桐³
(1.湖南工业大学 体育学院, 湖南 株洲 412006; 2.体质健康和运动健身湖南省重点实验室, 湖南 株洲 412006; 3.湖南师范大学 教育科学学院, 湖南 长沙 410081)

摘要: 对湖南省株洲市 209 名 3~6 岁学龄前儿童展开横断面调查, 通过加速度计测量 24 h 活动, 采用学龄前儿童执行功能问卷父母版评估学龄前儿童执行功能水平, 运用成分数据和等时替代模型方法分析 24 h 活动时间占比与学龄前儿童执行功能的关系, 以及 24 h 活动行为时间重新分配与执行功能的预期变化。结果显示: (1)MVPA 时间占比与学龄前儿童执行功能总分呈显著负相关 ($\beta_1^{(4)} = -5.45$, $P=0.03$), LPA 时间占比与学龄前儿童执行功能总分也呈显著负相关 ($\beta_1^{(4)} = -10.67$, $P < 0.001$), 睡眠时间占比与学龄前儿童执行功能总分呈显著正相关 ($\beta_1^{(4)} = 15.30$, $P < 0.001$), 久坐行为时间占比与学龄前儿童执行功能总分无相关性。(2)15 min 等时替代模型预测变化显示, MVPA 替换其他活动行为后, 学龄前儿童执行功能总分均显著下降, 反之则上升, 且 MVPA 与其他 3 种活动行为时间重新分配对执行功能的等时替代效益具有不对称性; 在所有替代中, MVPA 替代 LPA 对降低执行功能总分的效应最佳。研究认为: 幼儿园、家长应重视学龄前儿童 24 h 活动行为时间的综合效应, 以及 MVPA 不足对学龄前儿童执行功能的负面效应。不仅要长期坚持“多动少坐”的理念, 更应促进久坐与 MVPA 之间的转换, 同时可以通过提高 PA 强度促使 LPA 向 MVPA 转换, 以促进学龄前儿童执行功能发展。

关键词: 24 h 活动行为; 学龄前儿童; 执行功能; 等时替代

中图分类号: G807.1 文献标志码: A 文章编号: 1006-7116(2024)02-0148-07

A study on the effects of compositional isotemporal substitution benefits for 24-hour activity behavior on executive functions of preschool children

XU Zhihan^{1,2}, WANG Shiqiang^{1,2}, YU Aolin^{1,2}, CHEN Yuxin^{1,2}, XIAO Shunying^{1,2}, MA Zitong³
(1.College of Physical Education, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412006, China
2.Hunan Provincial Key Laboratory of Physical Health and Sports Fitness, Zhuzhou 412006, China
3.College of Educational Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

Abstract: A cross-sectional survey was conducted on 209 preschool children aged from 3 to 6 years old in Zhuzhou, Hunan, And accelerometers were used to measure 24-hour activity behavior, and the executive function level of preschool children was evaluated by the parental version of the executive function questionnaire for preschool children (BRIEF-P). Using compositional data and isotemporal substitution model methods to analyze the relationship between the proportion of 24-hour activity behavior time and the executive functions of preschool children, as well as the expected changes in the redistribution of 24-hour activity behavior time and executive functions. The results showed that: (1) The proportion of MVPA time and the total score of executive functions in preschool children displayed significantly negative correlation ($\beta_1^{(4)} = -5.45$, $P=0.03$), which is also between the

收稿日期: 2023-10-05

基金项目: 湖南省教育科学规划课题基地项目(XJK23AJD055)。

作者简介: 胥祉涵(1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 运动健康促进。E-mail: 596888175@qq.com 通信作者: 王世强

proportion of LPA time and the total score of executive function in preschool children ($\beta_1^{(4)} = -10.67, P=0.03$). But the proportion of sleep time was significantly and positively correlated with the total score of executive function in preschool children ($\beta_1^{(4)} = 15.30, P=0.03$), while the proportion of sedentary behavior time was not correlated with the total score of executive function in preschool children. (2) The prediction results of the 15 minute isotemporal replacement model showed that after replacing other activity behaviors with MVPA, the total score of executive function in preschool children significantly decreased, while on the contrary, it increased. Moreover, the redistribution of time between MVPA and the other three activity behaviors had an asymmetric effect on the isotemporal substitution benefit of executive functions. Among all alternatives, MVPA replacing LPA had the best effect on reducing the total score of executive functions. The research suggests that kindergartens and parents should pay attention to the comprehensive effects of 24-hour activity behavior time on preschool children, as well as the negative effects of insufficient MVPA on their executive functions. Not only should we adhere to the concept of "more activity and less sitting" in the long term, but we should also promote the transition between sedentary behavior and MVPA. At the same time, we can also increase the intensity of PA and promote the transition from LPA to MVPA, in order to promote the development of executive functions among preschool children.

Keywords: 24-hour activity behavior; preschool children; executive functions; isotemporal substitution

执行功能(Executive Function, EF),是指个体努力引导自身行为达到设定目标所需的互相关联的一系列能力,是更为高级的认知功能^[1]。学龄前期是幼儿执行功能发育的敏感期,执行功能发展对学龄前儿童的自我调节、抑制控制、工作记忆和认知灵活性等具有重要影响^[2]。既往研究以单一维度探讨身体活动、久坐或睡眠对学龄前儿童执行功能的独立影响^[3-5],但近年来,24 h 活动行为概念的提出为探讨3种行为对个体健康的综合效应提供新的分析范式。方法学层面,成分数据等时替代分析方法(Compositional Data Analysis)的引入,解决成分数据间的“定和限制”以及传统等时替代(Isotemporal Substitution Model, ISM)出现的伪相关及多重共线性问题,可以更加合理地探讨24 h 活动行为时间占比或重新分配与健康结局指标之间的关系^[6]。目前,仅1篇国外文献采用成分数据等时替代法分析24 h 活动行为重新分配对学龄前儿童执行功能影响^[7],但该研究仅以抑制自我调控作为预测执行功能水平的指标,且调查对象均为低收入家庭的学龄前儿童,结论不具有普遍性。国内有关采用成分数据等时替代法分析24 h 活动行为与学龄前儿童健康相关的研究起步较晚,多以成分数据分析方法以及等时替代模型理论介绍为主^[8-11],所以实证研究匮乏。仅常振亚等^[12-14]和尹龙等^[15]运用成分数据等时替代法分析24 h 活动行为相互替代对学龄前儿童体质、心理、肥胖以及基本动作技能等指标的影响,鲜有学者关注24 h 活动各行为间等时替代对学龄前儿童执行功能的影响。

基于此,本研究采用成分数据等时替代法探究24 h 活动行为与学龄前儿童执行功能关系及各活动行为相互替代对执行功能的影响,同时拟解决以下3个问题:

一是采用成分数据分析学龄前儿童24 h 活动行为时间相对分布状况以及24 h 活动行为与学龄前儿童执行功能的关系;二是采用成分数据等时替代法分析各活动行为两两之间进行15 min 相互替代对学龄前儿童执行功能的影响;三是各活动行为间等时替代时长对学龄前儿童执行功能影响的“剂量-效应”关系。

1 研究对象和方法

1.1 研究对象

本研究采用便利抽样法,以株洲地区为调查范围抽取5个幼儿园,在预先选定一所幼儿园进行预测试,排除预测试后配合程度低的样本并完善24 h 活动监测方案。遵循自愿参与原则,在剩余4所幼儿园中抽取260名3~6岁学龄前儿童参与研究。测试前,研究人员对参与者家长和幼儿园教师介绍加速度计使用规范及注意事项,如加速度计正确记录数据的位置、佩戴时间等。受试儿童需将加速度计连续7 d (5个工作日和2个周末日)佩戴在右侧腕部。考虑学龄前儿童年龄较小,加速度计的佩戴与数据有效性关系密切。因此,学龄前儿童每天早晨睡醒后,父母立即帮其佩戴好加速度计。学龄前儿童到达幼儿园,老师和研究人员进行第二轮监督仪器佩戴情况。此外,进行水上活动、洗澡和晚上睡觉时需取下仪器。加速度计数据记录设置为发放后第2天0点开始,仪器回收后采用ActiLife (Version 6.13.4)软件进行加速度计数据的导出与分析并初始化加速度计。对缺失24 h 活动行为时间数据样本进行剔除,同时对执行功能测试缺失的样本采用后期补测形式进行完善。最终有效样本总数为209人,有效率达到80.4%。受试者基本情况:男91人,占比

43.5%，女 118 人，占比 56.5%；居住地城区 95 人，占比 45.4%，农村 114 人，占比 54.6%；3、4、5、6 岁分别为 34、55、81、39 人，占比分别为 16.2%、26.3%、38.7%、18.6%。

1.2 研究方法

1) 24 h 活动指标测量。

通过 ActiGraph GT3-BT 加速度计对学龄前儿童的 24 h 活动行为时间进行记录。加速度计设置每天佩戴时间超过 480 min 且每周至少佩戴 3 d(2 个工作日和 1 个周末)为有效样本数据。根据 Butte 等^[16]提出的学龄前儿童身体活动强度分类标准并采用 15 s 的采样间隔，记录久坐时间、低强度身体活动时间(Light intensity physical activity, LPA)、中等强度身体活动时间(Moderate intensity physical activity, MPA)以及高强度身体活动时间(Vigorous intensity physical activity, MPA)，中高強度身体活动时间(Moderate to Vigorous intensity physical activity, MVPA)为 MPA 和 VPA 时间之和。睡眠时间以问卷形式初步调查，问卷题目有“工作日，孩子的睡眠时间从____:____到____:____(24 小时制)”，“周末，孩子午睡时间从____:____到____:____”以及“周末，孩子的睡眠时间从____:____到____:____”。最后结合 ActiLife 导出的活动数据手动划分入睡与起床的时间节点，由此计算出睡眠时间。

2) 执行功能测量。

采用 Gioia 等^[17]编制的学龄前儿童执行功能行为评定问卷父母版(BRIEF-P)评估学龄前儿童的执行功能水平。该问卷共 63 个条目，其内容包括情感控制、工作记忆或刷新、抑制、计划或组织、转换等 5 个因子，以及抑制自我调控、认知灵活性和元认知 3 个维度。其中，抑制和情感控制得分之和表示抑制自我调控得分，转换和情感控制得分相加为认知灵活性得分，工作记忆和计划或组织得分之和为元认知得分，各条目有从不、有时、经常 3 个选项，分别对应 1、2、3 分。该问卷得分与执行功能水平呈负向关系，即 BRIEF-P 分数越高，表示学龄前儿童执行功能越差。该问卷由北大六院王玉凤教授引入国内，路腾飞等^[18]对其进行信效度检验，结果显示该问卷重测信度的相关系数为 0.54~0.72，总量表的信度系数为 0.95，各因子的信度系数为 0.78~0.95，表明此问卷适用于中国背景^[19]。

3) 统计学方法。

数据分析遵循 Chastin 等^[6]和 Dumuid 等^[20]提出的 24 h 活动行为成分数据分析指南，在 R 统计软件(Version 4.2.3)中运行相关成分数据代码进行分析，主要包含以下几个方面：(1)对所收集的成分变量进行描述性统计分析，并计算相关变量的成分几何均值以反

映 24 h 活动行为时间分布趋势以及使用变异矩阵来描述成分数据的离散程度。(2)成分数据多元回归分析，通过等距对数比转换(Isometric log-ratio, ilr)将成分数据从单形空间映射到欧式空间，消除成分数据之间的多重共线性问题。在调整性别、年龄和居住地等协变量后，建立成分多元线性回归模型，以整体角度考察各活动行为与学龄前儿童执行功能之间的关联。具体的多元线性回归模型为：

$$E(Y|Z) = \beta_0 + \beta_1 Z_1 + \beta_2 Z_2 + \beta_3 Z_3 + \dots + \beta_{d-1} Z_{d-1} + \text{协变量} \quad (1)$$

$$Z_i = \frac{\sqrt{d-i}}{\sqrt{d-i+1}} \ln \left(\frac{b_i}{\sqrt{d} \prod_{j=i+1}^d b_j} \right) \quad (2)$$

其中 β 为回归系数，回归系数 β 表示各活动行为时间数据标准化后，睡眠、久坐、LPA、MVPA 分别相较于其他 3 种行为与 Y 的关联， β_0 为截距。 d 表示成分数量， $i=1, 2, 3, \dots, d-1$ ， Z_i 表示第 i 个成分的 ilr 变换变量， b_i 表示第 i 个成分， b_i 对应的值为成分数据量， Y 表示因变量， Z 表示成分几何均值向量， $Z=(Z_1, Z_2, \dots, Z_d)$ 。(3)采用成分数据等时替代法分析不同活动行为间“一对一”相互替代对执行功能的影响。既往研究指出，两两活动行为之间进行 15 min 的相互替换会引起健康指标发生显著变化^[21-22]，故本研究以 15 min 等时替代为例，分析 24 h 活动行为间等时替代对学龄前儿童执行功能的影响。(4)以 5 min 为增量^[23]，绘制两两行为间等时替代-30 min 到 30 min 对执行功能影响的差异变化趋势图，以帮助解释各活动行为间重新分配对学龄前儿童执行功能影响的“剂量-效应”关系。

2 结果与分析

2.1 描述性分析

执行功能测试结果显示，学龄前儿童执行功能总分均值为(94.79 ± 8.08)。其中，学龄前儿童情感控制得分(15.17 ± 2.73)、工作记忆得分(25.34 ± 3.16)、抑制得分(24.82 ± 2.78)、组织计划得分(15.02 ± 2.29)、转换得分(14.43 ± 2.70)、抑制自我调控得分(39.99 ± 4.22)、认知灵活性得分(29.60 ± 4.49)、元认知得分(40.37 ± 4.31)。学龄前儿童日均睡眠、久坐、LPA、MVPA 行为时间分别为 611.5、438.9、354.8、34.8 min，睡眠、久坐、LPA、MVPA 日均占比分别是 42.5%、30.5%、24.6%、2.4%，且成分几何均值比(42.8%、30.5%、24.6%、2.1%)与算数均值比无显著性差异。

依据成分数据变异矩阵(见表 1)可知，久坐和睡眠对数比方差最小，仅为 0.035，说明久坐和睡眠的相互依赖性最强，两种行为之间最有可能发生替换。而

MVPA 与其他活动行为的对数比方差均较大, 表示 MVPA 与其他 3 种行为的相互依赖性最弱, 即学龄前儿童花费在 MVPA 上的时间最为稳定。其中, MVPA 与 LPA 成对对数比方差最小, 提示 MVPA 与 LPA 替换的概率最高。

表 1 成分数据的变异矩阵

类别	SP	SB	LPA	MVPA
SP	0	0.035	0.052	0.374
SB	0.035	0	0.084	0.425
LPA	0.052	0.084	0	0.271
MVPA	0.374	0.425	0.271	0

2.2 24 h 活动时间分布与执行功能的关系

调整性别、年龄和居住地后, 以 ilr 转换后的睡眠、

久坐、LPA、MVPA 时间为自变量, 分别以各因子、维度得分以及执行功能总分为因变量进行成分数据多元线性回归分析, 探究 24 h 活动时间分布与各因子、维度得分以及执行功能总分之间的关系。表 2 结果显示, 24 h 活动行为与学龄前儿童执行功能各因子、维度及总分均显著相关($P < 0.001$), MVPA 和 LPA 时间占比与学龄前儿童工作记忆得分、抑制得分、抑制自我调控得分、元认知得分及执行功能总分呈显著负相关, 睡眠时间占比与学龄前儿童工作记忆得分、抑制得分、抑制自我调控得分、元认知得分、执行功能总分呈显著正相关, 而久坐时间与执行功能各维度得分关联均无统计学意义($P > 0.05$)。

表 2 活动行为与执行功能的成分线性回归结果¹⁾

类别	SP			SB			LPA			MVPA			模型 $P(R^2)$
	$\beta_1^{(1)}$	95%CI	P	$\beta_1^{(2)}$	95%CI	P	$\beta_1^{(3)}$	95%CI	P	$\beta_1^{(4)}$	95%CI	P	
情感控制	2.72	[-0.21, 5.64]	0.070	-1.23	[-3.30, 0.85]	0.25	-1.20	[-2.97, 0.58]	0.190	-0.29	[-2.11, 1.52]	0.75	<0.001(0.10)
工作记忆	6.17	[2.83, 9.52]	<0.001	0.19	[-2.18, 2.57]	0.87	-3.76	[-5.79, -1.73]	<0.001	-2.60	[-4.67, -0.53]	0.01	<0.001(0.13)
抑制	4.92	[1.99, 7.86]	0.001	0.43	[-1.65, 2.52]	0.68	-2.97	[-4.75, -1.18]	0.001	-2.39	[-4.21, -0.57]	0.01	<0.001(0.13)
组织计划	1.53	[-0.92, 3.99]	0.220	0.10	[-1.64, 1.84]	0.91	-1.24	[-2.73, 0.25]	0.100	-0.39	[-1.91, 1.13]	0.61	<0.001(0.10)
转换	-0.04	[-2.92, 2.83]	0.980	1.32	[-0.72, 3.37]	0.20	-1.50	[-3.25, 0.25]	0.090	0.22	[-1.56, 2.01]	0.81	<0.001(0.11)
抑制自我调控	7.63	[3.32, 11.95]	<0.001	-0.79	[-3.86, 2.27]	0.61	-4.16	[-6.78, -1.54]	0.002	-2.68	[-5.35, -0.01]	0.05	<0.001(0.16)
认知灵活性	2.67	[-2.06, 7.41]	0.720	0.27	[-3.26, 3.46]	0.96	-2.70	[-5.57, 0.17]	0.070	-0.07	[-3.00, 2.86]	0.96	<0.001(0.13)
元认知	7.71	[3.25, 12.16]	<0.001	0.29	[-2.87, 3.46]	0.86	-5.00	[-7.71, -2.30]	<0.001	-2.99	[-5.75, -0.23]	0.03	<0.001(0.16)
总分	15.30	[7.43, 23.18]	<0.001	0.82	[-4.77, 6.41]	0.77	-10.67	[-15.45, -5.89]	<0.001	-5.45	[-10.33, -0.57]	0.03	<0.001(0.26)

1) 负值表示负相关, β 表示某一活动行为相对其他 3 种活动行为对认知能力的影响

2.3 24 h 活动行为时间等时替代后执行功能的预期变化

根据各活动行为间 15 min 等时替代预测变化结果(见表 3)发现, 调整性别、年龄和居住地后用 15 min MVPA 替代睡眠、久坐、LPA, 学龄前儿童执行功能总分分别显著降低 1.82、2.44、2.56 个单位, 反之分别显著增加 3.32、3.92、4.04 个单位; 15 min MVPA 替代睡眠、久坐、LPA 时间替代, 抑制自我调控得分分别显

著降低 0.77、1.08、1.07 个单位, 反之显著上升 1.41、1.71、1.70 个单位; 15 min MVPA 替代睡眠、久坐、LPA, 认知灵活性得分分别显著下降 0.69、0.81、0.83 个单位, 反之分别显著上升 1.21、1.32、1.34 个单位。将 15 min MVPA 分别替代睡眠、久坐、LPA 后, 学龄前儿童元认知得分分别显著下降 0.79、1.10、1.16 个单位, 反之则分别显著上升 1.46、1.76、1.82 个单位。

表 3 24 h 活动行为间 15 min 等时替代与执行功能各维度得分预测值变化情况

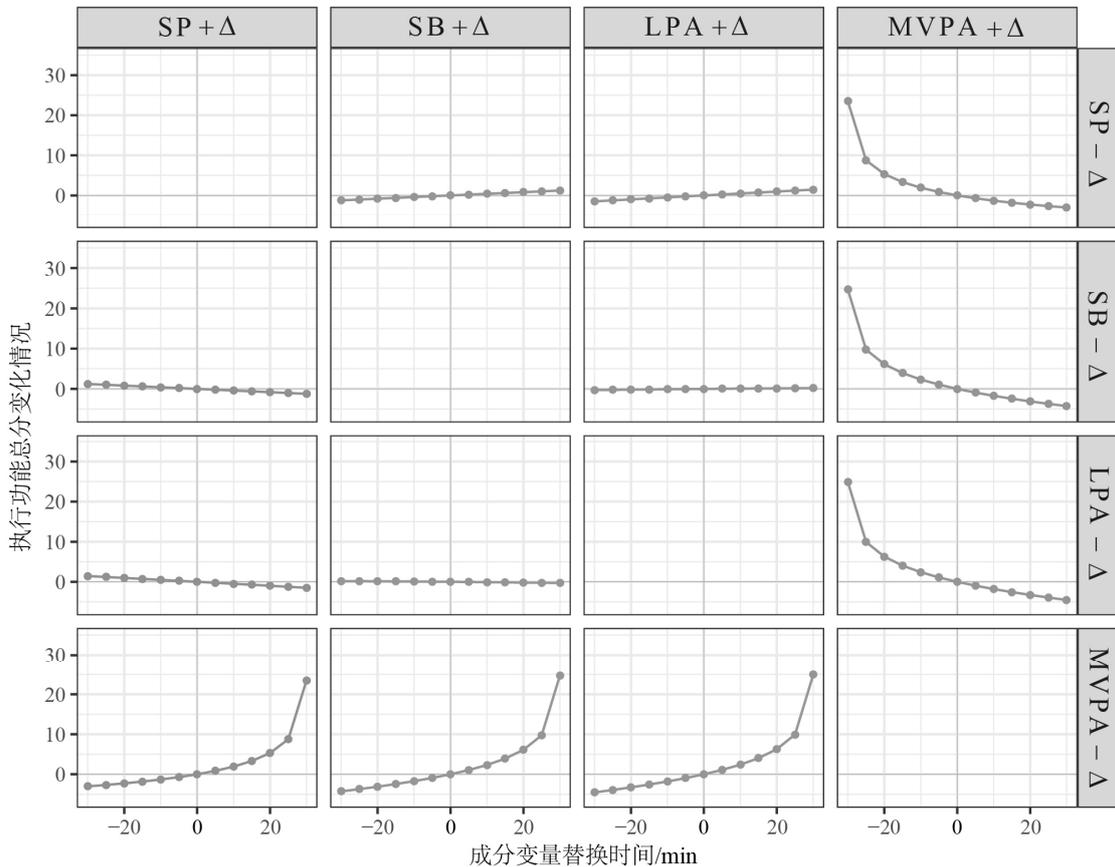
替代行为	被替代行为	抑制自我调控(95% CI)	认知灵活性(95% CI)	元认知(95% CI)	总分(95% CI)
SP	SB	-0.31 ¹⁾ (-0.49, -0.13)	-0.11(-0.30, 0.08)	-0.30 ¹⁾ (-0.49, -0.13)	-0.61 ¹⁾ (-0.93, -0.29)
SP	LPA	-0.30 ¹⁾ (-0.49, -0.12)	-0.13(-0.34, 0.07)	-0.36 ¹⁾ (-0.55, -0.17)	-0.74 ¹⁾ (-1.07, -0.40)
SP	MVPA	1.41 ¹⁾ (0.61, 2.20)	1.21 ¹⁾ (0.34, 2.09)	1.46 ¹⁾ (0.64, 2.28)	3.32 ¹⁾ (1.87, 4.77)
SB	SP	0.31 ¹⁾ (0.13, 0.48)	0.11(-0.08, 0.30)	0.31 ¹⁾ (0.13, 0.49)	0.61 ¹⁾ (0.29, 0.93)
SB	LPA	0.01(-0.17, 0.17)	-0.02(-0.21, 0.16)	-0.06(-0.23, 0.11)	-0.13(-0.44, 0.17)
SB	MVPA	1.71 ¹⁾ (0.93, 2.49)	1.32 ¹⁾ (0.47, 2.18)	1.76 ¹⁾ (0.96, 2.57)	3.92 ¹⁾ (2.50, 5.35)
LPA	SP	0.30 ¹⁾ (0.12, 0.48)	0.12(-0.07, 0.33)	0.36 ¹⁾ (0.17, -0.55)	0.73 ¹⁾ (0.40, 1.06)
LPA	SB	-0.02(-0.18, 0.15)	0.02(-0.16, 0.20)	0.05(-0.12, 0.22)	0.11(-0.20, 0.41)
LPA	MVPA	1.70 ¹⁾ (0.83, 2.57)	1.34 ¹⁾ (0.39, 3.00)	1.82 ¹⁾ (0.92, 2.72)	4.04 ¹⁾ (2.46, 5.63)
MVPA	SP	-0.77 ¹⁾ (-1.24, -0.29)	-0.69 ¹⁾ (-1.21, -0.18)	-0.79 ¹⁾ (-1.28, -0.30)	-1.82 ¹⁾ (-2.68, -0.96)
MVPA	SB	-1.08 ¹⁾ (-1.54, -0.62)	-0.81 ¹⁾ (-1.31, -0.30)	-1.10 ¹⁾ (-1.58, -0.63)	-2.44 ¹⁾ (-3.28, -1.60)
MVPA	LPA	-1.07 ¹⁾ (-1.62, -0.52)	-0.83 ¹⁾ (-1.43, -0.22)	-1.16 ¹⁾ (-1.73, -0.59)	-2.56 ¹⁾ (-3.57, -1.56)

1) $P < 0.05$

2.4 24 h 活动行为时间重新分配与执行功能的“剂量-效应”关系

本研究中学龄前儿童 MVPA 的算术均值为 34.8 min, 故以 5 min 为增量绘制两两行为间等时替代从 0~30 min 对执行功能影响的变化趋势图, 以进一步揭示等时替代时间的变化对学龄前儿童执行功能影响的“剂量-效应”关系。图 1 结果显示, 随着 MVPA 等时替代睡眠、久坐、LPA 时间的增加, 学龄前儿童执行功能总分会随之减少。当替换时间为 5 min 时, 学龄前儿童执行功能总分分别下降 0.70、0.91、0.95 个单位; 当等时替换时间从 10 min 再增加到 30 min 时, 学龄前儿童执行功能总分分别下降 0.60~0.35、0.80~0.56、0.84~0.61 个单位, 下降幅度趋于平缓; 但随着睡眠、久坐、LPA 等时替代 MVPA 时间的增加, 学龄前儿童

执行功能总分会显著提升。当等时替换时间为 5 min 时, 学龄前儿童执行功能总分分别提升了 0.85、1.06、1.10 个单位; 当等时替代时间从 10 min 再增加到 30 min 时, 学龄前儿童执行功能总分分别提高 1.07~14.75、1.28~14.94、1.30~14.97 个单位, 提升幅度显著上升。可见, MVPA 替代其他行为所导致的执行功能总分下降幅度明显小于其他活动行为等时替代 MVPA 所导致的执行功能总分下降幅度。图 1 结果表明, MVPA 与其他行为等时替代对学龄前儿童执行功能总分影响的“剂量-效应”关系具有不对称性, 而睡眠等时替代久坐以及睡眠等时替代 LPA 后学龄前儿童执行功能总分会小幅减少, 并且与久坐行为等时替代睡眠以及 LPA 等时替代久坐所导致的执行功能总分上升幅度基本保持一致。



“+Δ”表示该活动行为时间增加,“-Δ”表示该活动行为时间减少。

图 1 等时替代行为对执行功能影响的变化趋势

3 讨论

本研究突破传统研究孤立分析的局限, 采用成分数据分析方法探讨学龄前儿童 24 h 行为时间占比、时间重新分配与执行功能之间的关系, 主要有以下发现。

24 h 活动行为间既相互依赖又相互影响。本研究

以 24 h 活动行为整体范式分析发现, 学龄前儿童 24 h 活动行为整体与执行功能总分($P < 0.001$, $R^2 = 0.26$)显著相关, 这一结果表明将 24 h 活动行为视为整体研究其对身心健康综合效应的科学性。以往研究关于 PA 和学龄前儿童执行功能关系的证据存在分歧。

Willoughby 等^[24]研究发现 MVPA 与学龄前儿童执行功能呈负相关,而 LPA 与执行功能无显著相关性。而一项采用传统多元线性回归分析 3~5 岁幼儿 PA 与执行功能关系的研究结果发现,LPA 与执行功能的抑制控制因子存在负相关关系^[25]。本研究结果与 Berezza 等^[7]一致,在 24 h 活动对学龄前儿童执行功能的综合效应中,无论是 MVPA 还是 LPA 均对学龄前儿童执行功能以及与执行功能有关的工作记忆、抑制自我调控、元认知具有积极作用。

学龄前儿童久坐时间与执行功能总分及各因子得分不具相关性。Carson 等^[14]指出,不同类型久坐行为与学龄前儿童认知关联并非一致。本研究采用的加速度计只能记录久坐时间,无法区分久坐类型,这可能是本研究久坐时间与学龄前儿童执行功能关系模糊的原因,同时这也强调在未来研究中探讨久坐行为类型而非久坐时间对 24 h 活动行为研究的重要性。本研究结果显示,睡眠时间与学龄前儿童执行功能总分存在正向关系,这意味着睡眠时间越短,执行功能总分越低,而执行功能表现越好。以往研究已证实,充足的睡眠有助于认知功能相关的大脑神经系统发育^[26]。Philbrook 等^[27]研究发现,睡眠质量而非睡眠时长与儿童执行功能具有显著相关性,而本研究中学龄前儿童睡眠时间是主观测量获得,无法考察其他睡眠参数对执行功能的影响。因此,睡眠与久坐行为对学龄前儿童执行功能的影响还未能明晰,未来还需对睡眠参数以及久坐类型分类以探讨其对学龄前儿童执行功能的影响。

MVPA 等时替代其他 3 种活动行为对学龄前儿童执行功能总分以及工作记忆、抑制自我调控、元认知因子得分具有最大理论效应。但等时替代结果表明相较于 LPA,增加 MVPA 时间对促进学龄前儿童执行功能的效益更显著。在本研究中,学龄前儿童 PA 时间以远超过 WHO 制定的《5 岁以下儿童 24 h 活动行为指南》^[28](以下简称“指南”)中所推荐的 180 min,这意味着在一天有限的时间内且对于 PA 时间充足的群体来说,减少 LPA 时间、增加 MVPA 时间可能是促进学龄前儿童执行功能发展的最佳方案。此外,LPA 与久坐时间相互替代对学龄前儿童的执行功能总分无统计学意义。这一结果提示,虽然《指南》建议“多动少坐”增加 PA 时间减少久坐时间^[28],但促使久坐时间向 MVPA 转换而非向 LPA 转换可能更有益于学龄前儿童执行功能发展。需要注意的是,15 min 睡眠等时替换久坐对学龄前儿童执行功能总分具有较好的理论效应。正如前文所述,不同久坐类型对执行功能的影响不同,且真正影响学龄前儿童执行功能的睡眠参数还

未确定,所以睡眠和久坐时间重新分配对学龄前儿童执行功能的实际替代效应还有待进一步探讨。

MVPA 与其他活动行为重新分配对学龄前儿童执行功能具有不对称性,这一特征也存在于其他群体中^[29]。24 h 活动行为等时替代的不对称性与各活动行为时间占比有关,如 15 min MVPA 占本研究中 34.8 min MVPA 的 43.1%,而 15 min 的睡眠、久坐以及 LPA 分别占其总时间的 2.4%、3.4%、4.2%,可见等时替代时间比值的巨大差异引起 MVPA 等时替代其他活动行为对学龄前儿童执行功能的效应不对等。而其他 3 种活动行为的时间重新分配对学龄前儿童执行功能的改变相似,这一结果强调保持或增加 MVPA 对学龄前儿童执行功能的积极作用。对此,幼儿园及家长需要高度重视 MVPA 时间严重不足对学龄前儿童执行功能所造成的负面影响。

综上所述,本研究突破传统研究范式,以成分数据分析模型探讨 24 h 活动行为整体与学龄前儿童执行功能以及各因子之间的关系。然而,本研究仍属于横断面研究,故无法判断 24 h 活动行为对学龄前儿童执行功能的因果关系。此外,本研究并未区分久坐类别,如屏幕时间和非屏幕时间,同时睡眠时间是根据手动划分节点以及家长主观报告这种方式获得,未来可以细分久坐类型以及观察其他睡眠参数探讨其对学龄前儿童执行功能的影响,以期为我国研制学龄前儿童 24 h 活动行为指南提供更为细致、科学的事实依据。

参考文献:

- [1] TRDSMREN B M. Executive function: The search for an integrated account[J]. *Current Directions in Psychological Science*, 2000, 18: 89-94.
- [2] ANDERSON P J, REIDY N. Assessing executive function in preschoolers[J]. *Neuropsychol Rev*, 2012, 22(4): 345-360.
- [3] CARSON V, HUNTER S, KUZIK N, et al. Systematic review of physical activity and cognitive development in early childhood[J]. *J Sci Med Sport*, 2016, 19(7): 573-578.
- [4] CARSON V, KUZIK N, HUNTER S, et al. Systematic review of sedentary behavior and cognitive development in early childhood[J]. *Prev Med*, 2015, 78: 115-122.
- [5] REYNAUD E, VECCHIERINI M F, HEUDE B, et al. Sleep and its relation to cognition and behaviour in preschool-aged children of the general population: A systematic review[J]. *Journal of Sleep Research*, 2018, 27(3): e12636.
- [6] CHASTIN S F, PALAREA-ALBALADEJO J, DONTJE

- M L, et al. Combined effects of time spent in physical activity, sedentary behaviors and sleep on obesity and cardio-metabolic health markers: A novel compositional data analysis approach[J]. PLoS One, 2015, 10(10): e0139984.
- [7] BEZERRA T A, CLARK C C T, SOUZA FILHO A N, et al. 24-hour movement behaviour and executive function in preschoolers: A compositional and isotemporal reallocation analysis[J]. Eur J Sport Sci, 2021, 21(7): 1064-1072.
- [8] 宋俊辰, 李红娟, 王政淞. 时间使用流行病学在身体活动研究领域的应用[J]. 体育科学, 2020, 40(1): 79-88.
- [9] 张婷, 李红娟. 成分数据分析方法在身体活动与健康研究领域的应用展望[J]. 体育科学, 2020, 40(9): 74-82+97.
- [10] 刘晴, 谭健怡, 黄宝莹, 等. 3种成分数据方法在24h活动行为时间使用流行病学研究中的应用比较[J]. 中国体育科技, 2022, 58(10): 47-55.
- [11] 黄宝莹, 谭健怡, 刘晴, 等. 成分和非成分等时替代模型在身体活动健康效应研究中的应用比较及实证研究[J]. 体育科学, 2022, 42(2): 51-58+73.
- [12] 常振亚, 王树明. 24小时动作行为对学龄前儿童体质健康影响的等时替代效益研究[J]. 体育科学, 2020, 40(10): 50-57.
- [13] 常振亚, 王树明. 运动作息行为对3~6岁儿童心理健康影响的等时替代效益研究[J]. 天津体育学院学报, 2022, 37(3): 366-372.
- [14] 常振亚, 王玲, 王树明. 3~6岁儿童24小时动作行为与体脂率的关联性研究[J]. 中国运动医学杂志, 2023, 42(7): 518-526.
- [15] 尹龙, 李芳, 孙明云. 幼儿24h活动行为对基本动作技能影响的成分等时替代效益[J]. 上海体育学院学报, 2023, 47(3): 90-100.
- [16] BUTTE N F, WONG W W, LEE J S, et al. Prediction of energy expenditure and physical activity in preschoolers[J]. Med Sci Sports Exerc, 2014, 46(6): 1216-1226.
- [17] GIOIA G A, ISQUITH P K, GUY S C, et al. Behavior rating inventory of executive function[J]. Child Neuropsychology, 2000(6): 235-238.
- [18] 路腾飞, 帅澜, 张劲松, 等. 中文版学龄前儿童执行功能行为评定问卷(BRIEF-P)父母版的效度和信度[J]. 中国心理卫生杂志, 2017, 31(2): 138-143.
- [19] 钱英, 王玉凤. 学龄儿童执行功能行为评定量表父母版的信效度[J]. 北京大学学报(医学版), 2007(3): 277-283.
- [20] DUMUID D, STANFORD T E, MARTIN-FERNÁNDEZ J A, et al. Compositional data analysis for physical activity, sedentary time and sleep research[J]. Statistical methods in medical research, 2018, 27(12): 3726-3738.
- [21] DUMUID D, WAKE M, CLIFFORD S, et al. The association of the body composition of children with 24-hour activity composition[J]. The Journal of Pediatrics, 2019, 208: 43-49.
- [22] FAIRCLOUGH S J, DUMUID D, TAYLOR S, et al. Fitness, fatness and the reallocation of time between children's daily movement behaviours: An analysis of compositional data[J]. The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 2017, 14(1): 64-78.
- [23] 梁果, 王丽娟, 陈欢, 等. 24h活动时间分布及替代与儿童身体质量指数的关系研究: 基于成分分析模型[J]. 体育科学, 2022, 42(3): 77-84.
- [24] WILLOUGHBY M T, WYLIE A C, CATELLIER D J. Testing the association between physical activity and executive function skills in early childhood[J]. Early Childhood Research Quarterly, 2018, 44: 82-89.
- [25] VABØ K B, AADLAND K N, HOWARD S J, et al. The multivariate physical activity signatures associated with self-regulation, executive function, and early academic learning in 3-5-year-old children[J]. Frontiers in Psychology, 2022, 13, 1256733-1256746.
- [26] SADEH A. Consequences of sleep loss or sleep disruption in children[J]. Sleep Medicine Clinics, 2007, 2(3): 513-520.
- [27] PHILBROOK L E, HINNANT J B, ELMORE-STATON L, et al. Sleep and cognitive functioning in childhood: Ethnicity, socioeconomic status, and sex as moderators[J]. Developmental Psychology, 2017, 53(7): 1276-1285.
- [28] WHO. WHO Guidelines Approved by the Guidelines Review Committee[M]. Geneva: World Health Organization, 2019.
- [29] 邱艳平, 王丽娟, 周玉兰, 等. 基于成分数据分析的24h活动与儿童基本动作技能的关系[J]. 体育学刊, 2023, 30(1): 137-144.