DOI: 10.16835/j.cnki.1000-9817.2025301

· 生长发育与健康监测 ·

中小学生 24 h 活动行为与身体成分的关系

汪容佳[1],李红娟[2],武宝爱[3],郜艳晖[4]

1.天水师范大学体育运动与健康学院,甘肃 741000;2.北京体育大学运动人体科学学院/运动与体质健康教育部重点实验室;3.山西大学体育学院;4.暨南大学基础医学与公共卫生学院

【摘要】 目的 采用成分数据分析法探讨中小学生 24 h 活动行为与身体成分间的关联,为有效指导儿童青少年合理分配 24 h 活动行为并改善身体成分状况提供科学参考。**方法** 2021 年 6 月,采用随机整群抽样方法抽取山西省太原市 349 名中小学生为研究对象。采用成分多元回归分析探讨中小学生 24 h 不同活动行为与身体成分指标的关联,采用成分等时替代模型探讨活动行为间等时替代 10 和 20 min 时对身体成分的定量效应。**结果** 女生久坐(SB)时间与去脂体重(FFM)呈负相关(β=-4.81,P<0.01)。男生中高强度身体活动(MVPA)时间与 FFM 呈正相关(β=7.01);低强度身体活动(LPA)时间与 FFM 呈负相关(β=-9.26),与体脂百分比(FAT%)呈正相关(β=0.09)(P 值均<0.01)。成分等时替代分析显示,10 或 20 min 的 SB、SL 或 LPA 替代同等时间的 MVPA 产生的不利效应均大于 MVPA 替代相应行为所产生的有益效应。LPA 替代 MVPA 10 min,男生 FAT%上升 1.01%、反向替代则下降 0.91%;SB 或 SL 替代 MVPA 10 min,男生 FFM 分别减少 1.10 和 1.16 kg、女生分别减少 0.81 和 0.74 kg,反向替代则分别增加 0.92 和 0.97 kg,0.65 和 0.58 kg(P 值均<0.05)。LPA、SB 或 SL 与 MVPA 替代 20 min 时,变化趋势基本一致(P 值均<0.05)。**结论** 24 h 活动行为与中小学生身体成分有关联。MVPA 是改善学生身体成分的主要影响成分。

【关键词】 运动活动;身体成分;生长和发育;等时替代;学生

【中图分类号】 R 179 G 806 G 804.49 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-9817(2025)10-1489-04

Relationship between 24-hour activity behavior and body composition among primary and secondary school students

WANG Rongjia*, LI Hongjuan, WU Baoai, GAO Yanhui

* *School of Sports and Health, Tianshui Normal Institute, Tianshui* 741000, *Gansu Province, China*

【Abstract】 Objective To investigate the association between 24-hour activity behavior and body composition among primary and secondary school students using compositional data analysis method, so as to provide scientific guidance for optimizing daily activity allocation and improving physical health. **Methods** In June 2021, following the principle of random cluster sampling, 349 primary and middle school students were selected by lottery method from Taiyuan City, Shanxi Province. Compositional multiple regression analysis was conducted to examine the relationship between different 24-hour activity behaviors and body composition indicators. The isotemporal substitution model was adopted to examine the quantitative effects of substituting 10 or 20 minutes among activity behaviors on body composition. **Results** In girls, sedentary behavior (SB) time was negatively correlated with fat-free mass (FFM) (β=-4.81); in boys, moderate-to-vigorous physical activity (MVPA) time was positively correlated with FFM (β=7.01), while light physical activity (LPA) time was negatively correlated with FFM (β=-9.26) and positively correlated with body fat percentage (FAT%) (β=0.09) (all P<0.01). Isocaloric substitution analysis revealed that replacing the same duration of MVPA with SB, sleep (SL), or LPA for 10 or 20 minutes produced significantly greater adverse effects compared to the beneficial effects of MVPA substitution. Replacing MVPA with LPA for 10 minutes resulted in 1.01% increase in FAT% and 0.91% decrease in reverse substitution for boys; replacing MVPA with SB or SL for 10 minutes resulted in a decrease of 1.10 kg and 1.16 kg in FFM for boys, 0.81 kg and 0.74 kg for girls, and reverse substitution increased by 0.92 and 0.97 kg, 0.65 and 0.58 kg, respectively (all P<0.05). When LPA, SB or SL were replaced with MVPA for 20 minutes, the trend of change were basically consistent (all P<0.05). **Conclusions** Activity behaviors of 24-hour are associated with body composition among primary and secondary school students. MVPA is the primary influential component.

【Keywords】 Motor activity; Body composition; Growth and development; Isotemporal substitution; Students

【基金项目】 癌症、心脑血管、呼吸和代谢性疾病防治研究国家科技重大专项(2023ZD0508500,2023ZD0508502)

【作者简介】 汪容佳(1997-),女,甘肃天水人,硕士,助教,主要研究方向为儿童青少年身体活动与肥胖。

【通信作者】 李红娟,E-mail:janerobin@126.com

身体活动减少、静坐行为增加的不良生活方式在儿童青少年中普遍存在,是儿童青少年肥胖、超重的重要影响因素[1]。部分研究已探讨了身体活动与儿童青少年身体成分间的关系,然而多数研究是将 24 h 活动行为各部分即久坐(sedentary behaviour, SB)、低强度身体活动(light physical activity, LPA)、中高强度身体活动(moderate to vigorous physical activity, MVPA)和睡眠(sleep, SL)的时间看成独立成分,探讨其与身体成分的关系[2-4]。每日活动行为因其"定和限制"特性,任一行为时间的变化必然导致至少另一行为时间的变化,即某个行为的信息必须在考虑其他行为信息的前提下才有意义[5]。因此本文采用成分数据分析方法探讨 9~14 岁中小学生 24 h 各活动行为成分与身体成分的关联,并基于成分等时替代模型探讨活动行为间一对一等时替代与身体成分变化量间的关系[6],为有效指导中小学生合理分配 24 h 活动行为、改善身体成分状况提供科学参考。

1 对象与方法

1.1 对象 2021 年 6 月,按照随机整群抽样原则,获取山西省太原市迎泽区第二实验小学四至六年级、山西大学附属中学七至八年级(均为公立学校,位于核心城区)所有班级完整名单,对每个目标年级分别进行独立随机抽签,抽中的 2 个签条对应的班级为该年级的样本班级,排除有运动禁忌症、残疾、主要脏器有疾病的学生后,对被抽中班级内所有学生进行测试。最终纳入 349 个有效样本,其中男生 162 名,平均年龄(12.3±1.5)岁,平均身高(156.6±13.3)cm,平均体重(50.3±16.7)kg;女生 187 名,平均年龄(12.4±1.5)岁,平均身高(155.2±9.6)cm,平均体重(48.6±14.2)kg。参与测试的学生及其家长均签署知情同意书,本研究得到北京体育大学运动科学实验伦理委员会批准(批号:2019101H)。

1.2 方法

1.2.1 活动行为时间的测量 采用 ActiGraph GT3X + 加速度计客观测量学生 7 d 的身体活动,记录 SB、LPA、MVPA 的时间,SL 时间由 1 440 min 扣除其他行为时间获得。测试前指导学生于右髋部配戴加速度计并强调除睡觉、进行水上活动外共配戴 7 d。结束后收回加速度计,采用 ActiLife 5.6,以 30 Hz 的采样频率、10 s 的间隔时间导出原始数据。按照身体活动有效数据筛选标准选用符合标准的数据:(1)该天不少于 10 h 的清醒时间,则算为有效日;(2)一周至少包含 4 个有效日(3 个上学日+1 个周末日)[7]。身体活动强度临界点:SB 为 0~100 counts/min, LPA 为 101~2 295 counts/min, MVPA 为≥2 296 counts/min[8],各行为所花费时间由软件自动生成。

1.2.2 身体成分指标的测量 采用 Inbody J20 身体成分分析仪测试学生的体重、体脂含量、去脂体重(fat-free mass, FFM)等,均精确至 0.1 kg。体脂百分比(FAT%)= 体脂含量/体重×100%。

1.3 质量控制 测试前,对测试人员进行标准化培训,确保其准确掌握测试流程与操作规范。测试时,除主测人员外,另设一名质量监督员,负责巡视并即时核查测试操作的规范性与数据记录的准确性,所有测试人员在记录数据后,需立即向受试者复诵确认。由 3 名测试人员独立完成数据录入及数据截取,随后核对数据录入与截取结果,出现不一致时立刻核查与修正。

1.4 统计学分析 统计分析均在 R 3.6.3 软件中进行,主要采用"compositions""lmtest"和"deltacomp"等 R 包。采用几何平均值描述各行为成分数据的集中趋势;采用包含所有成对对数比方差的变异矩阵描述成分间的变异性。方差越小,说明相应两行为时间的相互依赖性越高,即相互转换的概率越高。对各成分数据进行等距对数比变换,最终得到 4 组 ilr_1^i 坐标,将 4 组中获得的坐标分别作为自变量,身高、体重、年龄为协变量,身体成分指标为结局变量,建立成分多元回归模型,并检验模型的正态性和方差齐性。采用成分等时替代方法[9],即以 10 min 为间隔进行"一对一"的等时替代,逐步增加到 20 min,预测行为间等时替代后对身体成分指标产生的变化[10]。检验水准 $\alpha=0.05$。

2 结果

2.1 中小学生 24 h 活动行为成分基本情况 女生 SB、LPA、MVPA、SL 时长及时间占比分别为 626.6, 201.4, 42.1, 569.9 min 和 43.5%, 14.0%, 2.9%, 39.6%;男生分别为 570.4, 234.9, 58.0, 576.7 min 和 39.6%, 16.3%, 4.0%, 40.1%。男、女生 SB 与 SL 的 ln 方差值最小(分别为 0.08, 0.09),即男女生均为 SB 与 SL 的相互依赖性最高,两者更易发生转换。

2.2 中小学生各活动行为与身体成分的关系 中小学生各活动行为与身体成分指标间关系的模型拟合度较好,ΔR^2 为 0.21~0.43(模型 $P<0.05$)。女生中,SB 与 FFM 呈负相关($\beta=-4.81$, $P<0.01$)。男生中,MVPA 与 FFM 呈正相关($\beta=7.01$);LPA 与 FFM 呈负相关($\beta=-9.26$),与 FAT%呈正相关($\beta=0.09$)(P 值均<0.01)。见表 1。

2.3 24 h 活动行为间等时替代与中小学生身体成分的变化

2.3.1 24 h 活动行为间等时替代与 FAT%的变化 对于 FAT%,女生中,只有 SB 和 SL 间的替代具有统计学意义,且两者间的替代与反向替代 FAT%的变化量较

为一致（$P<0.05$）；SB 替代 SL 10 min，FAT% 下降 0.14%，反向替代 FAT% 上升 0.14%。男生中，LPA 替代 SB，FAT% 上升 0.35%，反向替代则下降 0.37%；MVPA 替代 LPA 10 min，FAT% 下降 0.91%，反向替代则上升 1.01%。活动行为成分间等时替代 20 min 时，FAT% 变化趋势一致。见表 2。

表 1　不同性别学生各活动行为与身体成分之间的关系（β 值）

Table 1　The relationship between activity behavior and body composition in male and female students（β）

性别	变量	SL	MVPA	LPA	SB
女	FAT%	0.03	0.00	0.01	−0.04
（n=187）	FFM	−1.03	1.92	2.35	−4.81 **
男	FAT%	−0.02	−0.04	0.09 **	−0.02
（n=162）	FFM	−0.86	7.01 **	−9.26 **	3.11

注：** P<0.01。

表 2　男女生活动行为之间等时替代与 FAT% 变化的关系/%

Table 2　The relationship between isotemporal substitution of physical activity behaviors and changes in FAT% among male and female students/%

性别	活动行为	10 min				20 min			
		MVPA↑	LPA↑	SB↑	SL↑	MVPA↑	LPA↑	SB↑	SL↑
女	MVPA↓		0.04	−0.04	0.10		0.09	−0.07	0.21
（n=187）	LPA↓	−0.04		−0.08	0.06	−0.07		−0.16	0.11
	SB↓	0.05	0.08		0.14 *	0.10	0.16		0.28 *
	SL↓	−0.10	−0.06	−0.14 *		−0.19	−0.12	−0.28 *	
男	MVPA↓		1.01 *	0.66	0.68		2.17 *	1.48	1.52
（n=162）	LPA↓	−0.91 *		−0.37 *	−0.35 *	−1.76 *		−0.74 *	−0.71 *
	SB↓	−0.55	0.35 *		0.02	−1.01	0.69 *		0.04
	SL↓	−0.57	0.33 *	−0.02		−1.05	0.65 *	−0.04	

注：* P<0.05；↑表示增加 10/20 min，↓表示减少 10/20 min；表中数据表示活动行为间等时替代时 FAT% 产生的定量变化。

2.3.2　24 h 活动行为间等时替代与 FFM 的变化　对于 FFM，女生中，MVPA 替代 SB 或 SL 10 min，FFM 分别增加 0.65，0.58 kg，反之减少 0.81，0.74 kg；男生中进行同样替代时，FFM 减少的幅度大于 MVPA 替代 SB 或 SL 时 FFM 增加的幅度。此外，男生中，LPA 替代 SB 和 SL，FFM 下降 0.38，0.32 kg，反之增加 0.40，0.34 kg。活动行为成分间等时替代 20 min 时，FFM 变化趋势一致。见表 3。

表 3　男女生活动行为之间等时替代与 FFM 变化的关系/kg

Table 3　The relationship between isotemporal substitution of physical activity behaviors and changes in fat-free mass among male and female students/kg

性别	活动行为	10 min				20 min			
		MVPA↑	LPA↑	SB↑	SL↑	MVPA↑	LPA↑	SB↑	SL↑
女	MVPA↓		−0.67	−0.81 *	−0.74 *		−1.62 *	−1.89 *	−1.75 *
（n=187）	LPA↓	0.51		−0.14	−0.07	0.91		−0.28	−0.14
	SB↓	0.65 *	0.14		0.07	1.20 *	0.27		0.15
	SL↓	0.58 *	0.06	−0.07		1.05 *	0.13	−0.14	
男	MVPA↓		−1.48 *	−1.10 *	−1.16 *		−3.21 *	−2.47 *	−2.58 *
（n=162）	LPA↓	1.31 *		0.40 *	0.34 *	2.51 *		0.81 *	0.69 *
	SB↓	0.92 *	−0.38 *		−0.06	1.70 *	−0.75 *		−0.11
	SL↓	0.97 *	−0.32 *	0.06		1.82 *	−0.63 *	0.12	

注：* P<0.05；↑表示增加 10/20 min，↓表示减少 10/20 min；表中数据表示活动行为间等时替代时 FFM 产生的定量变化。

3　讨论

基于 24 h 各活动行为时间几何平均值的分析可知，中小学生每日 SB 时间约为 10 h，SL 时间约为 9.6 h，LPA 时间约为 3.5 h，而 MVPA 时间不足 1 h。表明学生每日活动时间总量虽基本满足，但 MVPA 的时间仍远远不够。因此，中小学生体质强健行动的实施重点必须要聚焦“有效体育活动”，着力增加其 MVPA 时间的有效积累[11]。

对中小学生的活动行为进行 10 和 20 min 的等时替代时发现，MVPA 替代 SB、SL 或 LPA 所产生的积极效应小于 SB、SL 或 LPA 替代 MVPA 所带来的负面效应。凸显了维持 MVPA 水平的重要性。这一替代效应的不对称性在其他成分等时替代的研究中也得到证实[10,12-13]。因此，应鼓励 MVPA 水平较低的学生维持其现有水平。此外，女生 SB 替代 MVPA 时 FFM 减少量大于 LPA 替代 MVPA 时的减少量，提示尽管无法持续进行 MVPA，但将剩余时间用于 LPA 比 SB 更好。可见，在身体活动中，仅强调 MVPA 是不够的，对于难以参与 MVPA 的女生群体，推广 LPA 具有潜在益处，可将其作为补充。

男生 LPA 替代 SB 10 min，反而使 FAT% 上升 0.35%，FFM 下降 0.38 kg，女生 SB 被 SL 替代，FAT% 上升；类似的结果在其他研究中也有所发现[14]。Lund 等[14]指出，可能原因是 LPA、SL 时间里混杂了部分 SB 时间，仅凭加速度切点值可能会高估 LPA 时间。因此，倡导未来研究应采用活动计数与身体姿势信息相结合的策略，以实现对 LPA 时间的更精确量化。

此外，研究发现当替代时间以 10 和 20 min 线性增加时，相应身体成分指标的变化呈非线性变化，即替代时间增加，变化量增加。如在男生中，MVPA 替代 LPA 10 min，FAT% 下降 0.91%，替代 20 min 时 FAT% 下降 1.76%。这种重新分配时间量与结局指标变化量间的非线性关系，与传统等时替代模型中两者间的线性关系虽然有所不同[15]，但均鼓励学生有效利用课间 10 min 或者 20 min 进行活动，不仅有助于改善其身体成分，更能激发身体活动水平不足学生的积极性。这种从短时活动逐步过渡至每日至少 60 min 的循序渐进的策略，有望提升达到身体活动指南推荐量[16]的儿童青少年比例。

一项系统综述显示，尽管不同国家儿童青少年的 SL 时间达标率相对较高，但仍有 55% 左右的儿童青少年每日 SL 时间低于标准[17]，提示全球儿童青少年 SL 状况不容乐观。SL 是儿童青少年关键的生理需求，SL 不足将对生长发育、心理行为和智力发展、学习和社会认知等产生负面影响[14,18]。目前，SL 时间与肥胖

的关系是研究热点。本研究通过等时替代发现,SL 替代 LPA 与 FAT%的降低相关,如男生的 SL 替代 LPA,FAT%降低 0.71%。其他采用成分等时替代方法的研究也表明,SL 替代 SB 或 LPA 与体质量指数、腰围的降低相关[19]。因此,保证充足 SL 对减少儿童青少年体脂、预防肥胖至关重要,应将其视为肥胖干预的重要方向之一,并在活动行为指南中纳入并提供明确的 SL 建议标准。

志谢 感谢山西省太原市迎泽区第二实验小学张东鹏老师和山西大学附属中学殷志鹏老师在收集研究数据过程中给予的帮助。

利益冲突声明 所有作者声明无利益冲突。

参考文献

[1] GOPINATH B, HARDY L L, BAUR L A, et al. Physical activity and sedentary behaviors and health-related quality of life in adolescents [J]. Pediatrics, 2012, 130(1): e167-e174.

[2] 刘德林.青少年身体成分、体力活动、身体素质之间的关系[D].太原:太原理工大学,2018.
LIU D L. The relationship between body composition, physical activity and physical fitness in adolescents[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2018. (in Chinese)

[3] 谭恺韫,赖丽娟,蔡莉,等.广州市小学生不同活动行为与体成分的关系[J].中国学校卫生,2019,40(12):1775-1779.
TAN K Y, LAI L J, CAI L, et al. Association of different activity behaviors with body composition among children aged 6 to 12 years in Guangzhou[J]. Chin J Sch Health, 2019, 40(12): 1775-1779. (in Chinese)

[4] YAMAKITA M, ANDO D, AKIYAMA Y, et al. Association of objectively measured physical activity and sedentary behavior with bone stiffness in peripubertal children[J]. J Bone Miner Metab, 2019, 37(6): 1095-1103.

[5] AITCHISON J. The statistical analysis of compositional data[M]. New York: Chapman and Hall, 1986.

[6] 李红娟,宋俊辰,蒋玖君,等.基于等时替代方法的超重肥胖职业人群健步走干预效果分析[J].北京体育大学学报,2020,43(11):111-118.
LI H J, SONG J C, JIANG J J, et al. Effect analysis of walking intervention for overweight and obese occupational population based on isotemporal substitution model[J]. J Beijing Sport Univ, 2020, 43(11): 111-118. (in Chinese)

[7] TUDOR-LOCKE C, BARREIRA T V, SCHUNA J M J, et al. Improving wear time compliance with a 24-hour waist-worn accelerometer protocol in the International Study of Childhood Obesity, Lifestyle and the Environment (ISCOLE)[J]. Int J Behav Nutr Phys Act, 2015, 12: 11.

[8] FREEDSON P, BOWLES H R, TROIANO R, et al. Assessment of physical activity using wearable monitors: recommendations for monitor calibration and use in the field[J]. Med Sci Sports Exerc, 2012, 44(1 Suppl 1): S1-S4.

[9] DUMUID D, STANFORD T E, PEDIŠIĈ Ž, et al. Adiposity and the isotemporal substitution of physical activity, sedentary time and sleep among school-aged children: a compositional data analysis approach [J]. BMC Public Health, 2018, 18(1): 311.

[10] 张婷,李红娟,李超,等.基于成分数据分析的青少年 24 h 活动行为与体质关联的研究[J].中国体育科技,2022,58(12):91-97.
ZHANG T, LI H J, LI C, et al. Research on the relationship between 24 h movement behaviour and physical fitness in adolescents based on component data analysis[J]. China Sport Sci Technol, 2022, 58(12): 91-97. (in Chinese)

[11] 孙科.认知、表征与行动:体重管理与体育作为[J].广州体育学院学报,2025,45(1):100-110.
SUN K. Cognition, representation, and action: weight management and the role of sports[J]. J Guangzhou Sport Univ, 2025, 45(1): 100-110. (in Chinese)

[12] CHASTIN S F M, 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.

[13] DUMUID D, LEWIS L K, OLDS T S, et al. Relationships between older adults' use of time and cardio-respiratory fitness, obesity and cardio-metabolic risk: a compositional isotemporal substitution analysis[J]. Maturitas, 2018, 110: 104-110.

[14] LUND R C, JOHANSSON M S, CROWLEY P, et al. Light-intensity physical activity derived from count or activity types is differently associated with adiposity markers[J]. Scand J Med Sei Sports, 2020, 30(10): 1966-1975.

[15] CARSON V, RINALDI R L, TORRANCE B, et al. Vigorous physical activity and longitudinal associations with cardiometabolic risk factors in youth[J]. Int J Obes, 2014, 38(1): 16-21.

[16] World Health Organization. Physical activity[EB/OL]. (2022-10-05)[2022-11-24]. https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/physical-activity.

[17] 王丽娟.5~18 岁儿童青少年 24 h 活动研究:现状、影响因素与健康效应[J].中国体育科技,2022,58(1):46-56.
WANG L J. 24-hour movement of children and adolescents aged 5-18: current situation, influencing factors, and healthy impact[J]. China Sport Sci Technol, 2022, 58(1): 46-56. (in Chinese)

[18] CARSON V, TREMBLAY M S, CHAPUT J P, et al. Associations between sleep duration, sedentary time, physical activity, and health indicators among Canadian children and youth using compositional analyses[J]. Appl Physiol Nutr Metab, 2016, 41(6 Suppl 3): S294-S302.

[19] WALSH J J, BARNES J D, CAMERON J D, et al. Associations between 24 hour movement behaviours and global cognition in US children: a cross-sectional observational study[J]. Lancet Child Adolesc Health, 2018, 2(11): 783-791.

收稿日期:2025-06-11 **修回日期**:2025-08-14 **本文编辑**:孙曼莉