

• 科研论著 •

基于等时替代模型分析儿童青少年 24 小时 活动行为与心肺耐力的关联

唐毅¹, 宋云峰², 杜以民³, 曹立全⁴

1. 天津体育学院体育教育学院, 天津 301617; 2. 天津体育学院运动健康学院; 3. 辽宁师范大学体育学院;
4. 天津市体卫融合与健康促进重点实验室

摘要: **目的** 运用成分分析方法探讨 24h 活动行为对儿童青少年心肺耐力(CRF)的综合影响及成分等时替代的实际效应,为改善儿童青少年的心肺耐力提供科学依据。**方法** 2023 年 5—6 月招募天津市一所初中 143 名学生为研究对象。采用 ActiGraph GT3X+ 加速度计测试受试者 24h 活动行为,采用第五次国民体质监测功率车二级负荷实验测试心肺耐力。使用成分分析方法分析探讨各成分与心肺耐力的关系,并以 15min 建立等时替代模型预测各活动行为替代后对结局变量产生的影响。**结果** 12~15 岁儿童平均每日中高强度身体活动(MVPA)、低强度身体活动(LPA)、久坐行为(SB)和睡眠(SLP)时间分别为 49.91、146.31、643.19 和 600.59min。儿童青少年 24h 活动行为时间相对分布与心肺耐力关联紧密,MVPA 的时间相对比较稳定,与其他活动行为发生转换的概率最低。成分结果显示,控制年龄性别后,MVPA 的时间占比与 CRF 呈显著正相关($\beta=5.28, P<0.01$),SB 的时间占比与 CRF 呈显著负相关($\beta=-4.02, P<0.01$)。在 15min 等时替代模型中,用 MVPA 替代 LPA、SB 和 SLP,以及用 SLP 替代 SB,CRF 均显著增加;用 LPA、SB 和 SLP 替代 MVPA 会使 CRF 显著减少。剂量-效应关系发现,等时替代效应具有不对称性,伴随 MVPA 等时替代其他行为时间的增加,儿童青少年 CRF 水平会缓慢提升,反之则会迅速下降;MVPA 替代其他行为,平均每天替代 10min 效果最为突出。**结论** 减少 SB 的同时增加 MVPA 是改善儿童青少年心肺健康的最佳途径,建议学生在 10min 的课间活动内,尽量将原本的 SB 转化为 MVPA,以更好地促进儿童青少年心肺健康发展。

关键词: 24h 活动行为; 成分分析; 等时替代; 心肺耐力

中图分类号:C913.6 文献标识码:A 文章编号:1008-6579(2024)08-0826-06 doi:10.11852/zgetbjzz2024-0041

Association between 24-hour activity behavior and cardiorespiratory endurance in children and adolescents based on isochronous substitution models

TANG Yi¹, SONG Yunfeng², DU Yimin³, CAO Liquan⁴

1. School of Sport Education, Tianjin University of Sport, Tianjin 301617, China;

2. School of Sport Health, Tianjin University of Sport; 3. School of Physical Education, Liaoning Normal University;

4. Tianjin Key Laboratory of Physical and Health Integration and Health Promotion, Tianjin University of Sport

Corresponding author: CAO Liquan, E-mail: caoliquan@tj.us.edu.cn

Abstract: **Objective** To explore the comprehensive effect of 24-hour activity behavior on cardiorespiratory fitness (CRF) in children and adolescents and the practical effect of component isochronous substitution by component analysis, in order to provide scientific evidence for improving CRF in children and adolescents. **Methods** From May to June 2023, a total of 143 students from a junior high school in Tianjin were recruited in this study. ActiGraph GT3X+ accelerometer was used to assess participants' 24-hour activity behavior, and the fifth National Physical Fitness Monitoring Power Test Level 2 load experiment was conducted to test CRF. Compositional analysis was employed to analyze the relationships between different components and CRF, and a 15-minute isochronous substitution model was established to predict the impact of substituting various activity behaviors on outcome variables. **Results** For children aged 12 - 15, the average daily durations of moderate-to-vigorous physical activity (MVPA), light physical activity (LPA), sedentary behavior (SB), and sleep (SLP) were 49.91, 146.31, 643.19, and 600.59 minutes, respectively. The relative distribution of 24-hour activity behaviors in children and adolescents was closely associated with CRF, with MVPA showing relatively stable durations and the lowest probability of transitioning to other activity behaviors. Component results indicated that after controlling for age

基金项目: 国家社科基金教育科学规划课题(BLA220234);天津市社会科学规划青年项目(TJTY16-002Q);天津市教委科研计划项目(2020ZD07)

作者简介: 唐毅(1999-),男,硕士研究生在读,主要研究方向为运动与健康促进。

通信作者: 曹立全, E-mail: caoliquan@tj.us.edu.cn

and gender, the proportion of time spent on MVPA ($\beta=5.28$, $P<0.01$) was positively correlated with CRF, while the proportion of time spent on SB ($\beta=-4.02$, $P<0.01$) was negatively correlated with CRF. In the 15-minute isochronous substitution model, replacing LPA, SB, and SLP with MVPA, as well as replacing SB with SLP, resulted in significant increases in CRF. Conversely, substituting MVPA with LPA, SB, and SLP led to a significant decrease in CRF. The dose-response relationship revealed an asymmetrical effect of isochronous substitution. With an increase in MVPA replacing other behaviors, the CRF levels in children and adolescents would gradually improve, while the opposite situation would lead to a rapid decline. Among the substitutions, MVPA replacing other behaviors for an average of 10 minutes per day yielded the most prominent effect. **Conclusions** Reducing SB while increasing MVPA is the best way to improve CRF in children and adolescents. It is recommended that students try to replace their original SB with MVPA as much as possible within the 10min recess to better promote CRF in children and adolescents.

Keywords: 24h activity behavior; compositional analysis; isochronous substitution; cardiorespiratory fitness

心肺耐力(cardiorespiratory fitness, CRF)反映机体摄取、运输和利用氧的综合能力,是评价儿童青少年体质健康的核心指标^[1]。在儿童和青少年时期,良好的心肺功能可以降低超重和肥胖率^[2],促进骨骼健康发育,维持良好的心理健康水平^[3],并降低成年后患慢性疾病的风险^[4]。随着生活水平的提高和生活方式的改变,儿童青少年心肺耐力水平处于逐年下降的趋势^[5],距离达到《“健康中国 2030”规划纲要》中的要求还有较大差距^[6]。研究发现,身体活动(physical activity, PA)不足、久坐行为(sedentary behaviour, SB)增多、睡眠(sleep, SLP)质量下降等生活方式问题是导致心肺耐力低下的重要因素^[3,7]。但以往的研究是以孤立的观点分析单一活动行为与心肺健康之间的关系^[8],忽略了各活动行为之间本质上是相互联系的,这种片面性导致了行为与心肺健康相关性评价的偏差^[9]。因此,在评估身体行为对心肺健康的影响时,应考虑多种行为变化的综合作用^[10]。

“成分等时替代模型”通过成分分析方法消除活动行为间的异质性,在此基础上模拟同等时间的某一行为替代另一行为,从整体上考量所有活动行为时间变化对健康的综合影响^[10]。国外有研究表明,平均 15min/d 的中高强度身体活动(moderate-to-vigorous physical activity, MVPA)或低强度身体活动(light physical activity, LPA)替代 SB 会有效改善儿童体质健康^[7]。目前国内尚无研究通过成分等时替代模型预测行为变化对儿童青少年心肺健康的影响^[11]。基于此,本研究从整体视角,采用成分分析方法探讨各行为成分与 CRF 间的关联,并采用等时替代法探究不同行为间替代相同时间对指标带来的定量变化,为改善儿童青少年心肺耐力提供科学依据。

1 对象和方法

1.1 对象 2023 年 5—6 月在天津市一所初中招

募 143 名 12~15 岁儿童青少年为研究对象,其中男 75 名(52.45%),女 68 名(47.55%)。使用 GPower3.10 估计的最小样本量为 74 人^[12],因此研究中的样本数量满足研究需要。对自愿参加本次研究的学生签署知情同意书。本实验经过天津体育学院伦理委员会批准(TJUS2022-009)。

1.2 方法

1.2.1 心肺耐力测量 本研究严格遵循第五次国民体质工作手册^[13]要求,测量均由受过专业训练的人员进行。测试仪器包括心率表、功率车(第五次国民体质监测专用仪器)。心肺耐力的测量方法:采用第五次国民体质监测功率车二级负荷实验对受试者的 CRF 进行测量。二级负荷试验全程维持 7min,整个运动过程中受试者始终以 60r/min 的转速蹬踏功率车,初始 30s 为零负荷热身阶段,每 3min 增加一个负荷等级(25W),共增 2 次,最后 30s 为零负荷恢复阶段。VO₂max 数值是基于年龄、性别,通过强度、心率推导回归方程计算,单位精确到 0.1mL/(kg·min)。测试时提醒受试者保持节奏,如测试时有不适状况,则立即终止测试。

1.2.2 24h 活动行为的测量 本研究采用 Acti-Graph GT3X 传感器(加速度计)客观测量受试者每日 PA 和 SB,睡眠时间通过 24h 减去清醒时间获得。受试者按要求将加速度计佩戴在右髋,佩戴时长总计为 7d,除睡觉和进行水上运动时才可取下。加速度计从发放后的第 2 天 0 点开始记录数据,并在第 8 天由研究人员收回。测试结束后,使用 Acti-Graph 6.3 软件下载和分析加速度计数据。本研究沿用 Marques 等^[14]的方法,将佩戴加速度计超过 600min 定义为 1 个有效天,总计 3 个有效天及以上,包括至少 2 个上学日和 1 个周末日。采用 Evenson 等^[15]研究中的切值对 SB(0~100 counts/min)、LPA(101~2 295 counts/min)、MPA(2 296~4 011 counts/min)和 VPA(4 012 counts/min 以上)进行分类。本研究采用的切值在评估儿童青少年 PA 方

面具有较高的有效性和可靠性。

1.2.3 相关变量 以下变量是潜在的混杂因素:年龄、性别、居住地、社会经济地位(social economic status, SES)和体质质量指数(body mass index, BMI);采用问卷调查收集这些变量信息。居住地分为城市和农村。父母的教育程度、父母职业和家庭收入用于评估学生的社会经济地位。使用身高计、体重秤对学生进行身高、体重测量,并计算出 BMI 指数, $BMI(kg/m^2) = \text{体重}(kg) / \text{身高}^2(m^2)$ 。本研究人口受教育程度较高,教育程度调查的起始点为小学及以下,最高点为大学及以上 5 个等级;父母职业测量参照国际职业编码;家庭收入以年为单位进行区分。最终赋值公式选用任春荣(2010)^[16]计算公式如下: $SES = (0.82 \times \text{父母教育程度} + 0.81 \times \text{父母职业} + 0.76 \times \text{家庭收入}) / 0.63$ 。

1.2.4 质量控制 为确保本研究的准确性与可靠性,测试仪器经过严格校准,测试人员接受了专业培训以保证操作的一致性。数据收集后,进行多次检查以确保数据的准确无误。

1.3 统计学方法 本研究遵循 Dumuid 等^[17]提出的成分数据分析方法,并运用 R4.2.3 软件中的 compositions 包对成分数据进行统计与分析。

1)常见的算术平均和标准差是为实数设计的描述性统计量,与成分数据的几何不符^[18]。因此本研究采用成分几何均值来显示数据的集中趋势^[19],计算公式为:

$$G_n = \sqrt[n]{x_1 x_2 \cdots x_n}$$

2)传统的标准差未考虑成分数据的“定和限制与共线性”^[20],无法排除单个分量的变化(如久坐时间的变化)所引起的另一分量变化的伴随性影响。相反,变异矩阵不存在以上的问题,能较好地反映成分数据的离散趋势与分量间的相互依赖性^[21]。通过计算所有可能成对比率的方差而得到。接近 1 的值表示相互依赖程度较低,接近 0 的值表示相互依赖程度较高。

3)使用等距对数比转换(isometric log ratio transformation, ilr)对成分数据进行多元回归分析。在 ilr 转换后,第一个坐标代表其中一种成分相对于其他所有成分的时间使用情况。所以在将 4 种行为中每一行为均作为首个分量后,最终获得 4 组数据,每组包含 3 个 ilr 坐标^[17]。以 SES、BMI 等作为协变量,得到的 4 组坐标作为自变量,CRF 作为结局变量,共同纳入来建立针对不同结局的多个成分多元线性回归模型。

4)根据拟合的线性回归模型,采用成分分析方

法对时间进行替换分析: $\hat{y}(+15, -15, 0, 0) = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}^{T} ilr(\overline{SLP_{+15}}, \overline{SLP_{-15}}, \overline{LPA}, \overline{MVPA})$ 。根据以往研究发现,15min 的活动行为变化便会对健康指标产生明显影响,故本研究首先以 15min 为单位,将某一行为的 15min 时间分配给另一行为,从而预测行为间等时替代对结局指标产生的变化。为方便与前人研究进行对比,本研究以 5min 为间隔进行“1 对 1”的等时替代,逐步增加至 60min^[10]。

2 结果

2.1 受试者基本特征 受试者总计 143 人,其中男 75 人(52.45%),女 68 人(47.55%)。男生、女生身高、体重和 BMI 差异均有统计学意义($P < 0.05$),在 SES 方面差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 1。

表 1 受试者基本特征 [$M(P_{25}, P_{75})$]

Tab. 1 Basic characteristics of subjects [$M(P_{25}, P_{75})$]

指标	男生($n=75$)	女生($n=68$)	$t/\chi^2/Z$ 值	P 值
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	13.20 $\pm$ 1.06	13.09 $\pm$ 0.91	0.66 ^a	0.51
居住地(例, %)				
城市	39(51.6)	30(44.3)	0.87 ^b	0.38
农村	36(48.4)	38(55.7)		
身高(cm)	173.4 $\pm$ 6.5	162.3 $\pm$ 5.8	8.45 ^a	<0.001
体重(kg)	60.0(50.0, 70.0)	49.0(44.0, 54.0)	5.58 ^c	<0.001
BMI(kg/m ²)	19.5(18.1, 22.6)	18.6(17.1, 20.3)	2.04 ^c	<0.001
SES	0.1(-0.7, 0.8)	-0.1(-0.7, 0.7)	0.74 ^c	0.27

注:^a t 值, ^b χ^2 值, ^c Z 值。

2.2 儿童青少年 24h 活动行为的分布情况 12~15 岁儿童青少年平均每日 MVPA、LPA、SB 和 SLP 时间分别为 49.91、146.31、643.19 和 600.59min。

学生一天大部分时间花费在 SB 或 SLP 上, MVPA、LPA、SB 和 SLP 的构成比例依次为 3.46%、10.16%、44.66% 和 41.71%。在男生中,其 LPA 和 SB 时间分别低于女生 43min 和 22min,而 MVPA 和 SLP 时间分别高于女生 12min 和 54min。见表 2。

表 2 MVPA、LPA、SB 和 SLP 时间使用的几何均值(min, %)

Tab. 2 Geometric mean of MVPA, LPA, SB and SLP(min, %)

分组	MVPA	LPA	SB	SLP
全部	49.91(3.47)	146.31(10.16)	643.19(44.66)	600.59(41.71)
男生	46.55(3.23)	128.29(8.91)	644.43(44.75)	620.73(43.11)
女生	34.77(2.41)	171.57(11.91)	666.65(46.30)	567.01(39.38)

注:括号内为 4 种活动行为的构成比。

依据变异矩阵可知,SB 与 SLP 的相互依赖性最高($\ln SB/SLP = 0.12$),学生用于 SB 的时间和

SLP 的时间更有可能发生转换。而 MVPA 与 SB ($\ln \text{MVPA}/\text{SB}=0.45$) 间的相互依赖性最低,二者不易发生转换。见表 3。

表 3 MVPA、LPA、SB 和 SLP 时间使用的变异矩阵
Tab. 3 Variation matrix for MVPA, LPA, SB and SLP

身体活动	MVPA	LPA	SB	SLP
MVPA	0.00	0.36	0.45	0.40
LPA	0.36	0.00	0.26	0.37
SB	0.45	0.26	0.00	0.12
SLP	0.40	0.37	0.12	0.00

2.3 儿童青少年 24h 活动行为与心肺耐力的成分线性回归分析 经过调整 BMI、SES 等协变量后,以 ilr 转换后的 24h 活动行为 (MVPA、LPA、SB 和 SLP) 作为自变量,以 CRF 作为因变量,使用成分分析方法探讨其关联。在 4 个模型中, P 值、 R^2 、截距和协变量均相同 (CRF: $P<0.001$, $R^2=0.13$)。成分回归模型显示, MVPA ($\beta_{\text{MVPA}}=5.28$, $P<0.01$) 的时间占比与 CRF 呈显著正相关,即随着 MVPA 时间的增加 (LPA、SB 和 SLP 时间相对减少), CRF 会随之增加。久坐行为 ($\beta_{\text{SB}}=-4.02$, $P<0.01$) 的时间占比与 CRF 呈显著负相关,即随着 SB 时间的增加 (MVPA、LPA 和 SLP 时间相对减少), CRF 会随之减小。然而未发现 LPA 和 SLP 与 CRF 之间的

关联。见表 4。

表 4 24h 活动行为时间分布与 CRF 的成分线性回归
Tab. 4 Component linear regression of the 24h temporal distribution of activity behaviors with CRF

活动行为	β 值	P 值	模型 P 值	$S_{\bar{e}}$	t 值	模型 R^2 值
MVPA	5.28	0.01				
LPA	2.38	0.40	<0.001	3.830	14.775	0.13
SB	-4.02	0.01				
SLP	-1.31	0.50				

注:上述模型调整年龄、性别、居住地、BMI 和 SES; β 值代表的是相对其他行为,给定行为变化对 CRF 的影响,如 MVPA 指相相对于 SLP、SB 和 LPA, MVPA 的变化对 CRF 的影响。

2.4 24h 活动行为与心肺耐力的成分等时替代模型 在成分回归模型的基础上,以 15min/d 为例进行等时替代分析,将其中一种行为的 15min 重新分配至另一行为,观察各行为间等时替代后对 CRF 指标产生的影响。结果发现,将 15min MVPA 等时替代 SB、LPA 或 SLP 后, CRF 分别增加 0.31、0.21 和 0.17mL/(kg·min); 将 SB、LPA 或 SLP 替代 MVPA 后, CRF 分别降低 0.33、0.29 和 0.23mL/(kg·min)。将 15min SLP 等时替代 SB 时, CRF 将增加 0.09mL/(kg·min), 将 SB 等时替代 LPA 或 SLP 时, CRF 分别降低 0.19 和 0.10mL/(kg·min)。见表 5。

表 5 24h 活动行为 15min 等时替代与 CRF 预测值变化 [mL/(kg·min), 95%CI]

Tab. 5 Changes in predicted values of 24h active behavior 15min isochronous substitution and CRF [mL/(kg·min), 95%CI]

身体活动	SB ↓	LPA ↓	MVPA ↓	SLP ↓
SB ↑		-0.19 (-0.27, -0.12) *	-0.33 (-0.48, -0.19) *	-0.10 (-0.11, -0.08) *
LPA ↑	0.05 (-0.03, 0.13)		-0.29 (-0.44, -0.15) *	0.12 (-0.14, 0.38)
MVPA ↑	0.31 (0.17, 0.46) *	0.21 (0.17, 0.24) *		0.17 (0.11, 0.21) *
SLP ↑	0.09 (0.04, 0.15) *	-0.17 (-0.40, 0.05)	-0.23 (-0.47, 0.02) *	

注:模型中调整年龄、性别、居住地、BMI 和 SES; ↑ 代表该活动行为时间增加 15min, ↓ 代表该活动行为时间减少 15min; * $P<0.05$ 。

2.5 MVPA 和其他活动行为等时替代后 CRF 的变化情况 调整年龄、性别、居住地、BMI 和 SES 后,对于具有显著性替代效应的 24h 活动各行为 (MVPA 与 SLP、SB 和 LPA), 本研究进一步以 5min 为一次替代增量,持续延长至 60min,探讨不同替代时间与 CRF 之间的剂量-效应关系。结果显示:1) 随着 MVPA 替代 SB、SLP 和 LPA 时间的增加, CRF 预测值呈不断上升趋势,上升趋势由高到低依次为 MVPA/SB、MVPA/LPA、MVPA/SLP。见图 1。2) MVPA 与其他各行为之间的相互替代与 CRF 的剂量效应关系具有不对称性,即随着 MVPA 替代其他行为时间的增加, CRF 会缓慢上升,反之则迅速下降。例如,将 30min MVPA 等时替代 SB 时,

CRF 上升 0.53mL/(kg·min), 但当 SB 以相同时间替代 MVPA 时, CRF 下降 0.90mL/(kg·min)。3) MVPA 替代 LPA、SB 和 SLP 的时间为 10min 时, CRF 分别上升 0.12、0.18、0.08mL/(kg·min), 但在随后的 15~60min 时间内, CRF 上升逐渐减慢, 上升幅度分别为 0.20~0.80、0.25~0.93、0.14~0.70mL/(kg·min)。当 LPA、SB 和 SLP 替代 MVPA 的时间为 10min, 其 CRF 分别下降 0.17、0.19、0.14mL/(kg·min), 但在随后的 15~60min 时间内, CRF 下降速度逐渐加快, 下降幅度分别为 0.27~5.48、0.31~6.09、0.23~5.19mL/(kg·min)。此结果说明, 10min 为 MVPA 与其他行为相互替代的健康效益变化的转折点。

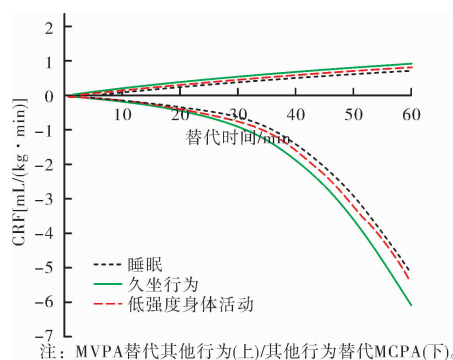


图1 MVPA等时替代其他行为对CRF的影响

Fig. 1 Effect of MVPA isochronous substitution for other behaviors on CRF

3 讨论

3.1 12~15岁儿童青少年24h活动行为分布 本研究结果显示12~15岁儿童平均每日MVPA、LPA、SB和SLP时间分别为49.91、146.31、643.19和600.59min。一项基于加速计的中国儿童青少年身体活动水平研究的Meta分析显示^[22],中国儿童青少年平均每天MVPA为32.85min,本研究MVPA虽然要高于上述研究,但距离《中国儿童青少年身体活动指南》^[23]建议的儿童每天至少累计60min的MVPA还存在一定差距。这也再一次验证了我国儿童普遍存在身体活动不足的现象^[24]。本研究变异矩阵的结果证实各活动行为之间存在相互转换的可能。24h活动行为中MVPA的时间相对比较稳定,与其他活动行为发生转换的概率最低。而在所有活动要素中,SB与SLP发生转换的概率最高。这可能归因于初中生学习任务较为繁重,上课、做作业等久坐时间增加导致睡眠时间减少,而当学习时间减少时,初中生通常会代偿性补足睡眠时间^[25]。SB与MVPA发生转换的可能性最低,这可能与个人生活习惯较难被改变有关。LPA的时间相对稳定,不易与其他行为进行转换。

3.2 减少SB的同时增加MVPA是改善儿童心肺健康的最佳途径 本研究成分等时替代模型显示,MVPA等时替代其他行为时均能产生积极的CRF结果;同样,用SLP等时替代SB也能产生一定的健康效益,此结果表明MVPA和SLP对于提高儿童的心肺健康都具有重要意义。同时发现,用MVPA等时替代SB时CRF的变化最大,这意味着就产生的健康效益量MVPA要优于SLP,提示减少SB的同时增加MVPA时间对改善儿童心肺健康效果更佳,更有利于提升体质水平。再次验证以往研究中提及的MVPA是对儿童青少年健康最有益的活动

强度^[7,26]。从生理机制的角度来看,长时间进行MVPA活动可有效改善机体利用和输送氧的能力^[27-28],同时,MVPA可以激活AMPK和p38AMPK,使得细胞中PGC-1 α 激活转录因子,加快线粒体基因的表达,使线粒体合成增多^[29],从而更有利于心肺能力的提高。

3.3 等时替代的不对称性及10min为替代最佳转折点 本研究针对MVPA与其他行为的相互替代进行了剂量-效应分析,研究发现:1)等时替代具有不对称性。将MVPA等时替代其他活动行为时,CRF缓慢增加,反之CRF则快速下降。此结果可能由以下两方面原因造成,一方面,可能与替代时间在不同活动总时间中的占比有关:该群体每天久坐时间大约10h,而MVPA的总时间却不足1h,若从MVPA中取出15min分配给其他行为,相当于1/3的MVPA时间被替代,如此大比例的活动时间被分配至其他行为自然会引起较大的替代效应。反之,SB时间取出15min分配给其他行为仅占本研究中儿童青少年久坐时间的1/50,如此细微的调整所带来的影响基本可以忽略;另一方面,身体活动带来的健康收益具有累积效应,当个体持续保持身体活动,会产生健康收益,但是当个体不进行或者减少身体活动,健康收益会随之迅速下降。2)10min为MVPA替代的剂量-效应变化最佳转折点。本研究首次针对中国儿童青少年探讨身体活动与CRF之间的剂量-效应关系。根据剂量-效应曲线结果可知,MVPA替代LPA、SB和SLP在达到10min后,CRF增加速度逐渐减缓,说明在目前MVPA活动(49.91min/d)基础上,每天增加10min的MVPA活动,即约60min/d的MPVA活动对改善CRF效果最好,此结果与我国所建议的儿童青少年每个学习日60min的身体活动量相一致^[30]。因此应鼓励学生在10min的课间活动内,尽量将原本的SB转化为MVPA,以更好地促进儿童青少年心肺健康。

综上,本研究中12~15岁儿童身体活动普遍不足;24h活动行为中SB与SLP发生转换的概率最高,而LPA最为稳定,不易发生转换;MVPA等时替代其他行为具有积极的健康效益,其中,MVPA等时替代SB效益最佳;剂量-效应分析发现等时替代具有不对称性,且10min为替代的最佳转折点,建议学生在10min的课间活动内,尽量将原本的SB转化为MVPA,以更好地促进儿童青少年心肺健康发展。

参考文献

- [1] 尹小俊. 心肺耐力是儿童青少年体质健康的重要维度[J]. 中国学校卫生, 2017, 38(12): 1761-1764.

- Yin XJ. Cardiorespiratory endurance is an important dimension of physical fitness in children and adolescents[J]. *Chin J School Health*, 2017, 38(12): 1761-1764. (in Chinese)
- [2] Zhu L, He A, Chen D, et al. Cardiorespiratory fitness as a mediator between body fat rate and executive function in college students [J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2023, 14: 1293388.
- [3] Janssen I, Roberts KC, Thompson W. Is adherence to the Canadian 24-hour movement behaviour guidelines for children and youth associated with improved indicators of physical, mental, and social health? [J]. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2017, 42(7): 725-731.
- [4] Höglström G, Nordström A, Nordström P. High aerobic fitness in late adolescence is associated with a reduced risk of myocardial infarction later in life; A nationwide cohort study in men[J]. *Eur Heart J*, 2014, 35(44): 3133-3140.
- [5] 韦雄师, 孟祥龙, 邓晓明, 等. 大学生体质健康现状与促进研究[J]. *体育科技*, 2019, 40(6): 79-81.
- Wei XS, Meng XL, Deng XM, et al. Research on the current situation and promotion of college students' physical health[J]. *Sports Science and Technology*, 2019, 40(6): 79-81. (in Chinese)
- [6] 中共中央国务院印发《“健康中国 2030”规划纲要》[J]. *中华人民共和国国务院公报*, 2016(32): 5-20.
- CPC Central Committee State Council Issues Outline of "Healthy China 2030" Plan[J]. *Bulletin of the State Council of the People's Republic of China*, 2016(32): 5-20. (in Chinese)
- [7] Carson V, Hunter S, Kuzik N, et al. Systematic review of sedentary behaviour and health indicators in school-aged children and youth: An update[J]. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2016, 41(6 Suppl 3): S240-265.
- [8] 陈泽刚, 丁吉, 万芹, 等. 中国儿童青少年体力活动与心肺耐力的相关性[J]. *中国学校卫生*, 2022, 43(3): 429-432.
- Chen ZG, Ding J, Wan Q, et al. Correlation between physical activity and cardiorespiratory endurance in Chinese children and adolescents[J]. *Chin J Sch Health*, 2022, 43(3): 429-432. (in Chinese)
- [9] 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 HJ, Li C, et al. A study on the association between 24-h activity behavior and physical fitness of adolescents based on component data analysis[J]. *China Sports Science and Technology*, 2022, 58(12): 91-97. (in Chinese)
- [10] Chastin SFM, Palarea-Albaladejo J, Dontje ML, 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.
- [11] 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.
- Song JC, Li HJ, Wang ZS. Application of time-use epidemiology in the field of physical activity research[J]. *Sports Science*, 2020, 40(1): 79-88. (in Chinese)
- [12] Knoczynski GT, Mundfrom D. Sample sizes when using multiple linear regression for prediction[J]. *Educational and Psychological Measurement*, 2008, 68(3): 431-442.
- [13] 体育总局关于开展第五次国民体质监测的通知_部门政务_中国政府网[EB/OL]. [2023-07-13]. https://www.gov.cn/xinwen/2019-02/02/content_5363384.htm.
- [14] Marques A, Santos R, Ekelund U, et al. Association between physical activity, sedentary time, and healthy fitness in youth [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2015, 47(3): 575-580.
- [15] Evenson KR, Catellier DJ, Gill K, et al. Calibration of two objective measures of physical activity for children[J]. *J Sports Sci*, 2008, 26(14): 1557-1565.
- [16] 任春荣. 学生家庭社会经济地位(SES)的测量技术[J]. *教育学报*, 2010, 6(5): 77-82.
- Ren CR. Measurement techniques of students' family socioeconomic status (SES)[J]. *Journal of Education*, 2010, 6(5): 77-82. (in Chinese)
- [17] Dumuid D, Stanford TE, Martin-Fernández JA, et al. Compositional data analysis for physical activity, sedentary time and sleep research[J]. *Stat Methods Med Res*, 2018, 27(12): 3726-3738.
- [18] Modeling and analysis of compositional data | Wiley[EB/OL]. [2024-03-28]. <https://www.wiley.com/en-us/Modeling+and+Analysis+of+Compositional+Data-p-9781118443064>.
- [19] Gupta N, Mathiassen SE, Mateu-Figueras G, et al. A comparison of standard and compositional data analysis in studies addressing group differences in sedentary behavior and physical activity[J]. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 2018, 15(1): 53.
- [20] 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.
- Zhang T, Li HJ. Prospects for the application of component data analysis methods in the field of physical activity and health research[J]. *Sports Science*, 2020, 40(9): 74-82, 97.
- [21] Štefelová N, Dygrýn J, Hron K, et al. Robust compositional analysis of physical activity and sedentary behaviour data[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2018, 15(10): 2248.
- [22] 张翌华, 李红娟, 桂春燕, 等. 基于加速度计的中国儿童青少年身体活动水平研究的 Meta 分析[C]//第十一届全国体育科学大会论文摘要汇编. 中国体育科学学会, 2019: 2.
- [23] 张云婷, 马生霞, 陈畅, 等. 中国儿童青少年身体活动指南[J]. *中国循证儿科杂志*, 2017, 12(6): 401-409.
- Zhang YT, Ma SX, Chen C, et al. Physical activity guide-

- (12): 2184-2188.
- Zhou Q, Guo YQ, Zhang XN. Impact of maternal parenting practices and infant and young child eating behaviors on childhood overweight and obesity[J]. *Modern Preventive Medicine*, 2022,49(12): 2184-2188. (in Chinese)
- [12] Gartstein MA, Rothbart MK. Studying infant temperament via the revised infant behavior questionnaire[J]. *Infant Behav Dev*, 2003,26: 64-86.
- [13] 张青, 王争艳. 母亲敏感性与婴儿气质、注意对学步儿执行功能影响的交互作用: 一项两年的追踪研究[J]. *心理学报*, 2022,54(2): 141-153.
- Zhang Q, Wang ZY. The interaction of maternal sensitivity with infant temperament and attention on toddler executive function: A two-year follow-up study[J]. *Acta Psychologica Sinica*, 2022,54(2): 141-153.
- [14] Putnam SP, Gartstein MA, Rothbart MK. Measurement of fine-grained aspects of toddler temperament: The early childhood behavior questionnaire[J]. *Infant Behav Dev*, 2006,29(3): 386-401.
- [15] 王珺. 幼儿掌握动机的气质基础、个体差异及其与成就表现的关系[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- Wang J. The temperamental tendency of mastery motivation, individual differences and their relationship with achievement performance among young children[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008.
- [16] WHO. WHO child growth standards: Length/height-for-age, weight-for-age, weight-for-length, weight-for-height, and body mass index-for-age: Methods and development [EB/OL]. (2006-11-11) [2023-09-01]. <http://www.who.int/childgrowth/standards/en/>.
- [17] Wang X, Ammerman A, Orr CJ. Family-based interventions for preventing overweight or obesity among pre-schoolers from racial/ethnic minority groups: A scoping review[J]. *Obes Sci Pract*, 2021,10;8(3): 371-386.
- [18] Wright AS, Guthrie-Dixon N, Tulloch-Reid MK, et al. Maternal feeding styles in infancy predict child body mass index Z-scores at 72 months: Findings from a cohort of Jamaican children [J]. *Front Public Health*, 2023, 11:1161808.
- [19] Hughes SO, Power TG, O'Connor TM, et al. Maternal feeding style and child weight status among Hispanic families with low-income levels: A longitudinal study of the direction of effects[J]. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 2021,18(1): 30.
- [20] Power TG, Hidalgo-Mendez J, Fisher JO, et al. Obesity risk in Hispanic children: Bidirectional associations between child eating behavior and child weight status over time[J]. *Eat Behav*, 2020,36: 101366.
- [21] Vandyousefi S, Gross RS, Katzow MW, et al. Infant and early child appetite traits and child weight and obesity risk in low-income Hispanic families[J]. *J Acad Nutr Diet*, 2021,121(11): 2210-2220.
- [22] Schneider-Worthington CR, Fouts A, Chandler-Laney PC, et al. Infant temperament is associated with maternal feeding behaviors in early infancy [J]. *Appetite*, 2022, 168: 105686.
- [23] Faith MS, Hittner JB, Hurston SR, et al. Association of infant temperament with subsequent obesity in young children of mothers with gestational diabetes mellitus[J]. *JAMA Pediatr*, 2019, 173(5):424-433.
- [24] Steinsbekk S, Bjorklund O, Llewellyn C, et al. Temperament as a predictor of eating behavior in middle childhood - a fixed effects approach[J]. *Appetite*, 2020,150: 104640.
- 收稿日期:2024-01-23 修回日期:2024-04-19 本文编辑:王悦
-
- (上接第 831 页)
- lines for children and adolescents in China[J]. *Chin J Evid Based Pediatr*, 2017, 12(6): 401-409. (in Chinese)
- [24] 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.
- Liang G, Wang LJ, Chen H, et al. A study on the relationship between 24h activity time distribution and substitution and children's body mass index: Based on a component analysis model[J]. *Sports Science*, 2022, 42(3): 77-84. (in Chinese)
- [25] 满盈盈, 席薇, 张欣. 天津市儿童青少年睡眠时间与生活方式的关系 [J]. *中国妇幼保健*, 2016, 31(18): 3733-3737.
- Man YY, Xi W, Zhang X. Relationship between sleep duration and lifestyle among children and adolescents in Tianjin[J]. *China Maternal and Child Health*, 2016, 31(18): 3733-3737. (in Chinese)
- [26] Mota JG, Clark CCT, Bezerra TA, et al. Twenty-four-hour movement behaviours and fundamental movement skills in preschool children: A compositional and isotemporal substitution analysis[J]. *J Sports Sci*, 2020, 38(18): 2071-2079.
- [27] Naylor M, Chernofsky A, Spartano NL, et al. Physical activity and fitness in the community: the Framingham Heart Study[J]. *Eur Heart J*, 2021, 42(44): 4565-4575.
- [28] Peck SS, Esmaeilzadeh M, Rankin K, et al. Self-reported physical activity, QOL, cardiac function, and cardiorespiratory fitness in women with HER2+ breast cancer[J]. *JACC CardioOncol*, 2022, 4(3): 387-400.
- [29] Flack K, Pankey C, Ufholz K, et al. Genetic variations in the dopamine reward system influence exercise reinforcement and tolerance for exercise intensity[J]. *Behav Brain Res*, 2019, 375: 112148.
- [30] 马勇. 美国、加拿大、澳大利亚大学生身体活动指导纲要特征及启示[J]. *广州体育学院学报*, 2019, 39(3): 118-121.
- Ma Y. Characteristics and inspiration of physical activity instruction program for college students in the United States, Canada and Australia[J]. *Journal of Guangzhou Sports Institute*, 2019, 39(3): 118-121. (in Chinese)
- 收稿日期:2024-01-10 修回日期:2024-03-29 本文编辑:王悦