



24 h 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

梁 果, 王丽娟*, 陈 欢, 林 浩, 陈 元

(上海体育学院 体育教育训练学院, 上海 200438)

摘要:目的:使用成分分析方法综合探究上海市儿童24 h活动时间分布与身体质量指数(body mass index, BMI)之间的关系。方法:对上海市321名6~13岁学龄儿童(男生158名,女生163名)展开横断面调查,采用加速度计测量其24 h活动行为,采用标准测量仪器测量儿童身高、体质量;使用成分线性回归分析儿童24 h活动行为与身体质量指数z分数(body mass index z-score, zBMI)的关系,以及探讨24 h活动行为等时替代对zBMI的影响。结果:1)成分回归结果显示,控制性别和年龄后,中高强度身体活动(moderate-to-vigorous physical activity, MVPA) ($\beta=-0.75, P<0.001$)、低强度身体活动(light physical activity, LPA) ($\beta=-0.13, P<0.05$)的时间占比与儿童zBMI呈显著性负相关,久坐行为($\beta=0.61, P<0.001$)和睡眠($\beta=0.53, P<0.01$)的时间占比与儿童zBMI呈显著性正相关。2)在15 min等时替代模型中,用MVPA替代LPA、久坐行为和睡眠,以及用LPA替代久坐行为,会使zBMI显著性减少;用LPA、久坐行为和睡眠替代MVPA,以及用久坐行为替代LPA,则会使zBMI显著性增加。3)剂量-效应分析发现, MVPA与其他活动行为的相互替代对zBMI的影响具有不对称性, LPA与久坐行为的替代对zBMI的影响呈对称性; MVPA在替代久坐行为时对zBMI的降低效果最好;随着MVPA替代其他活动行为时间的增加, zBMI降低速度不断减慢,反之, zBMI增长速度不断变快。结论:家长和教师应着眼于儿童24 h活动整体,高度重视MVPA和LPA带来的积极效应,促进久坐行为向MVPA和LPA转换,以获得对儿童更好的健康效益。

关键词:身体活动;久坐行为;睡眠;身体质量指数;成分分析;等时替代

中图分类号:G804.49

文献标识码:A

超重或肥胖已成为全球性的公共卫生问题,在我国亦是如此。2020年12月发布的《中国居民营养与慢性病状况报告(2020年)》显示,我国6~17岁儿童青少年超重肥胖率已接近20%。肥胖问题已严重影响到我国儿童青少年的脑功能、生长发育、心理健康和社会适应(钟磊发等, 2018)。身体活动、久坐行为和睡眠是影响我国儿童肥胖的3个重要因素,既往研究认为,这3种行为独立影响儿童产生肥胖风险(贾俐挺等, 2013;李新等, 2017; Xu et al., 2017)。然而,身体活动、久坐行为与睡眠3种行为构成一天24 h活动,一种行为时间的变化必然会引起其他行为活动时间的变化。因此,有学者提出,不能仅考虑单一行为对个体健康状况的影响,应当采用共变(co-variation)方法,探析24 h活动三要素的相互联系对个体健康结果的综合效应(Mekary et al., 2009; Prochaska, 2008)。

基于此, Pedišić(2014)提出,应将24 h活动数据视为成分数据,即每部分数据相对独立,但将其组合构成一个固定常量(如一天24 h的活动)。由于成分数据非负性以及定和性的限制,使用传统线性回归分析会使各成分数

据间存在伪相关与多重共线性的问题(Chayes, 1960; Pearson, 1896)。由此,2015年,英国学者Chastin将成分分析方法(compositional data analysis)引入健康促进研究领域。此种方法通过对成分数据之间进行对数比转换成时间占比,从而了解不同行为的时间分布与健康结局变量的关系,消除原成分数据中不同成分之间的共线性,使传统的统计分析方法适用于成分数据(黄婷婷等, 2019)。目前,国外部分研究者运用成分分析方法探讨了中高强度身体活动(moderate-to-vigorous physical activity, MVPA)、低强度身体活动(light physical activity, LPA)、久坐行为和睡眠时间的占比以及等时替代(即在同一时间内用一种活动

收稿日期:2021-04-12; 修订日期:2022-01-27

基金项目:上海市科学技术委员会科研计划项目(18080503300)。

第一作者简介:梁果(1997-),女,在读硕士研究生,主要研究方向为学校体育学, E-mail: 1921111058@sus.edu.cn。

*通信作者简介:王丽娟(1974-),女,教授,博士,博士研究生导师,主要研究方向为儿童青少年身体活动, E-mail: wlj711@aliyun.com。

代替另一种活动)对肥胖风险的影响(Carson et al., 2016; Kim et al., 2020; Talarico et al., 2018)。研究发现, MVPA的时间占比增多可以降低肥胖风险, 久坐行为的时间占比增多会增加肥胖风险; 并且, 用MVPA替代LPA、久坐行为和睡眠会降低肥胖风险, 而用久坐行为替代MVPA、LPA和睡眠会增加肥胖风险(Carson et al., 2016; Kim et al., 2020; Talarico et al., 2018)。基于这些研究, 加拿大与澳大利亚运动生理协会组织相关专家分别于2016年与2019年制定颁布了加拿大与澳大利亚的儿童青少年24 h活动指南。

在我国, 对于成分分析在身体活动与健康研究领域应用的文献报道大多停留在理论层面(宋俊辰等, 2020; 张婷等, 2020), 目前仅有一项实证研究运用此方法分析24 h活动与学龄前儿童体质健康的关系(常振亚等, 2020), 鲜见学者运用此方法针对学龄儿童24 h活动与健康指标的关系进行分析。本研究聚焦上海市6~13岁学龄儿童, 研究目的包括: 1) 采用成分分析方法探讨儿童MVPA、LPA、久坐行为、睡眠的时间分布与其身体质量指数z分数(body mass index z-score, zBMI)的关系; 2) 在成分数据的框架下, 探讨MVPA、LPA、久坐行为和睡眠时间之间进行15 min等时替代对zBMI的影响; 3) 探究MVPA、LPA、久坐行为和睡眠持续替代时间与zBMI之间的剂量-效应关系。

1 研究对象与方法

本研究以上海市6~13岁学龄儿童为研究样本, 测量其身体活动、久坐行为、睡眠时长与zBMI。本研究通过了上海体育学院伦理委员会的伦理审查。

1.1 测量与调查对象

采用随机分层整群的抽样方法, 首先从上海19个区县中随机抽取3个城区, 在每个区中随机抽取1所小学, 从1~5年级中各随机抽取一个班级, 邀请班级所有学龄儿童共578名参与研究。按照自愿参与的原则, 共有528名学龄儿童及其监护人签署了知情同意书。排除心、脾、肾、肝等脏器存在问题者, 共有466名学龄儿童参与此次研究。本研究运用Actigraph GT3X型人体运动能耗监测仪(以下简称“加速度计”)对466名学龄儿童一周不同强度身体活动、久坐时间与睡眠时长进行测量, 并按照Anderson等(2005)提出的身体活动有效筛选标准, 即每天佩戴时间不少于10 h为1个有效日, 1周至少佩戴3个有效日为有效身体活动数据, 获取有效测试数据。数据分析显示, 在466名参与测试的学龄儿童中, 324名学龄儿童的身体活动测试数据达到有效标准, 为有效数据, 有效率为69.5%。对324名学龄儿童发放基本信息和睡眠时长的调查问卷, 最终收回有效问卷321份, 问卷回收率为99.1%。因此, 最终纳入样本为321名学龄儿童。

1.2 身体活动、久坐行为及睡眠时长测量

本研究采用加速度计测量学龄儿童的身体活动、久坐行为和睡眠时长。加速度计是目前测量儿童体力活动及能量消耗最有效的工具之一, 已广泛应用于国内外儿童青少年身体活动的研究中(贺刚等, 2011)。测试前由研究人员讲解本研究的目的, 向学生发放仪器, 并讲解佩戴加速度计的规范及注意事项。测试过程中, 将加速度计佩戴于受试者腰间右侧, 要求其在接受测试的一周内每天都佩戴, 包括晚上睡眠时间, 但在水性活动如游泳时需取下。为提高数据的有效性, 研究人员每天去学校监督及检查学生的仪器佩戴情况。加速度计从发放的第2天0点开始记录数据, 直至第8天由研究人员收回。测试结束后, 运用Actigraph 6.5软件对加速度计数据进行筛选和统计分析。加速度计采用30 s的时间间隔记录加速度测量数据。本研究选取Zhu等(2013)提出的符合中国学龄儿童的强度分类标准, 以0次/min、100次/min、2 800次/min、4 000次/min为切点将身体活动分为久坐行为、LPA、中等强度身体活动(moderate physical activity, MPA)和高强度身体活动(vigorous physical activity, VPA)。本研究选取测量数据中的MVPA时间(MPA时间+VPA时间)、LPA时间、久坐时间和睡眠时长作为学龄儿童的身体活动及睡眠数据进行分析。

1.3 BMI测量

严格按照《全国学生体质与健康调研检测细则》的要求, 测量均由受过专业训练的人员进行。身高测量方法为: 用标准测量仪器测量研究对象头顶点至地面的垂直距离(cm), 精确至0.1 cm。体质量的测量方法为: 采用标准体质量计测量研究对象仅身着贴身衣物时的体质量(kg), 精确至0.1 kg。测量完成后, 计算每位受试对象的身体质量指数(body mass index, BMI), $BMI = \text{体质量(kg)} / \text{身高}^2 (\text{m}^2)$ 。由于学龄儿童年龄跨度较大, 为使数据更具可比性, 对BMI进行标准化计算, 得到新的标准化分数(zBMI)。测量的同时, 记录每位受试对象的性别、年龄与年级。

1.4 统计学分析

数据分析遵循Chastin等(2015)提出的24 h活动成分分析指南, 并运用R 4.3.0软件中的compositions包对成分数据进行统计与分析。成分数据是指用D维向量 $X = [x_1, x_2, \dots, x_D]$ 表示, 其分量满足约束条件的数据。此约束条件 $\sum_{i=1}^D x_i = 1, 0 \leq x_i \leq 1$ 被称为定和限制, 是成分数据的基本特征。

1) 采用成分几何均值描述时间数据的集中趋势。因成分数据研究的是成分间的相对信息, 而非绝对数值, 故在对此类数据的分析过程中计算其成分几何均值而非算术平均值来揭示绝对数据背后的相对信息(Chastin et al., 2015)。使用变异方差矩阵描述身体活动、久坐行为和睡眠成分数据的离散情况。由于单个数据的方差无法体现

各活动行为相互依赖的关系, 故在成分数据分析中计算所有活动行为之间成对比率的方差 [如 $\ln(\text{久坐行为}/\text{MVPA})$ 的方差] 来描述离散趋势: 方差数值越小, 表示两项活动间的关联程度越高; 方差数值越大, 表示两项活动间的关联程度越低。

2) 基于成分数据回归中等距对数比 (isometric log-ratio, ILR) 转换, 在控制性别和年龄等混杂因素的前提下, 进行多元回归分析。使用传统的统计方法对成分数据进行回归分析时, 常常忽略数据定和约束的前提, 导致变量间可能产生伪相关和多重共线性的现象。为解决此问题, 使用 R 软件中 compositions 包的 ILR 函数对 24 h 活动行为进行 ILR 转换 $Z_i = \frac{d-i}{\sqrt{d-i+1}} \ln\left(\frac{b_i}{d-1\sqrt{\prod_{j=i+1}^d b_j}}\right)$, 在此基础上建立线性回归模型: $Y_i = \beta_0 + \beta^T \text{ilr}(x_i) + \varepsilon_i$ 。模型中的 β 值分别代表调整行为整体及单个其他行为花费的时间后, MVPA、LPA、久坐行为和睡眠分别相对于其他 3 种行为与体质健康之间的关联, 以每个模型中的 P 值、 R^2 、截距 (β_0) 和协变量 (ε_i) 的数值是否相同判断模型是否出错。

3) 根据拟合的成分回归模型, 采用既往研究中时间变量重新分配方法进行时间替换分析: $\hat{y}_{(+15, -15, 0)} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}^T \text{ilr}\left(\frac{\text{睡眠}}{+15}, \frac{\text{久坐行为}}{-15}, \text{LPA}, \text{MVPA}\right) + \varepsilon_i$ (Dumuid et al., 2018)。既往研究发现, 15 min 活动行为的变化就能对健康指标产生明显影响 (关尚一等, 2013; Dumuid et al., 2019), 故在本研究的替代分析中, 首先以 15 min 为单位, 在保持总时间 (1 440 min) 和其他活动时间不变的基础上, 将某种活动行为的 15 min 分配给另一种活动, 计算重新分配时间后的时间分布与原始均值时间分布的 zBMI

的差值; 然后, 对于在 15 min 替代中对 zBMI 有显著性影响的 活动行为重复此模型。为方便与前人研究进行对比, 本研究参照前人研究以 5 min 为增量 (关尚一等, 2013; Dumuid et al., 2019), 持续延长至 60 min, 讨论不同替代时间与 zBMI 的剂量-效应。由于本研究中的 MVPA 成分均值为 27.41 min, 加之受成分数据非负的限制, 故对 MVPA 探讨其 -25~60 min 的剂量-效应。

2 研究结果

2.1 受试者的基本情况

受试学龄儿童共 321 名, 男生 158 名 (49.22%), 女生 163 名 (50.78%)。其中, 一年级 58 人 (18.07%), 二年级 67 人 (20.87%), 三年级 63 人 (19.63%), 四年级 68 人 (21.18%), 五年级 65 人 (20.25%)。受试学龄儿童平均年龄为 10.13 ± 1.41 岁, 平均身高为 139.15 ± 12.01 cm, 平均体质量为 34.66 ± 11.42 kg, 平均 BMI 为 17.50 ± 3.35 kg/m²。按照中国肥胖问题工作组 (Working Group on Obesity in China, WGOC) 的肥胖标准对 BMI 进行划分 (李辉等, 2010), 超重/肥胖率为 22.04%。

2.2 受试者 24 h 活动的时间分布

1) 使用成分几何均值描述成分数据的集中趋势。MVPA、LPA、久坐行为及睡眠的成分几何均值分别为 27.41 min (1.90%)、237.98 min (16.53%)、554.86 min (38.53%)、619.75 min (43.04%), 算术平均值分别为 29.42 min (2.04%)、287.86 min (19.99%)、539.45 min (37.46%)、583.45 min (40.51%) (表 1)。两种方法对集中趋势的描述存在差异, 与成分几何均值相比, 算术平均值对 MVPA 和 LPA 时间的描述有一定程度的高估, 对久坐行为和睡眠时间的描述有一定程度的低估。

表 1 身体活动、久坐行为和睡眠时长的成分几何均值和算术平均值

Table 1 Standard and Compositional Descriptive Measures of the Proportion of Time Spent in Physical Activity, Sedentary Behavior and Sleep

成分几何均值				算术平均值			
MVPA/min	LPA/min	久坐行为/min	睡眠/min	MVPA/min	LPA/min	久坐行为/min	睡眠/min
27.41(1.90%)	237.98(16.53%)	554.86(38.53%)	619.75(43.04%)	29.42(2.04%)	287.86(19.99%)	539.45(37.46%)	583.45(40.51%)

2) 使用变异方差矩阵描述成分数据内部各变量之间的离散程度。变异矩阵分析发现 (表 2), 24 h 活动中各要素之间的等距对数比方差均大于 0, 说明各要素之间相互关联。其中, 久坐行为和睡眠的等距对数比方差最小 ($\ln \text{久坐行为}/\text{睡眠}=0.155$), 说明这两项活动关联程度最高, 最容易发生转换。LPA 与其他活动行为的对数比方差均较高 ($\ln \text{MVPA}/\text{LPA}=1.247$; $\ln \text{久坐行为}/\text{LPA}=1.497$; $\ln \text{睡眠}/\text{LPA}=0.908$), 表明 LPA 与其他活动行为的关联程度均较低。

2.3 儿童 24 h 活动时间分布与 zBMI 的成分线性回归分析

调整性别和年龄后, 以 ILR 转换后的 24 h 活动行为

(MVPA、LPA、久坐行为和睡眠) 为自变量、zBMI 为因变量进行成分回归分析, 探讨 24 h 活动时间分布与 zBMI 之间的关联。4 个模型中, P 值、 R^2 、截距和协变量均相同 (zBMI: $P < 0.001$, $R^2=0.20$)。成分回归模型显示 (表 3), 儿童的 MVPA ($\beta_{\text{MVPA}}=-0.75$, $P < 0.001$) 和 LPA ($\beta_{\text{LPA}}=-0.13$, $P < 0.05$) 的时间占比与 zBMI 呈显著性负相关, 即随着 MVPA 时间的增加 (LPA、久坐行为和睡眠时间的相对减少) 或 LPA 时间的增加 (MVPA、久坐行为和睡眠时间的相对减少), zBMI 会不断减小。久坐行为 ($\beta_{\text{久坐行为}}=0.61$, $P < 0.001$) 和睡眠 ($\beta_{\text{睡眠}}=0.53$, $P < 0.01$) 的时间占比与 zBMI 呈显著性正相关, 即随着久坐行为时间的不断增加 (MVPA、

LPA和睡眠时间的相对减少)或睡眠时间的不断增加(MVPA、LPA和久坐行为时间的相对减少),zBMI水平会不断提升。

表2 身体活动、久坐行为和睡眠的成对对数比变异矩阵
Table2 Compositional Variation Matrix of Time Spent in Physical Activity, Sedentary Behavior and Sleep

	MVPA	LPA	久坐行为	睡眠
MVPA	0	1.247	0.429	0.294
LPA	1.247	0	1.497	0.908
久坐行为	0.429	1.497	0	0.155
睡眠	0.294	0.908	0.155	0

2.4 儿童24h活动替代与zBMI预测值变化

以15min为替代时间,探讨MVPA、LPA、久坐行为和睡眠之间相互替代对zBMI的影响。等时替代分析发现(表4),控制性别和年龄后,用MVPA替代LPA、久坐行为和睡眠分别会显著减少0.13、0.15、0.14个单位的zBMI,用LPA、久坐行为和睡眠替代MVPA分别会显著增加0.24、0.26、0.25个单位的zBMI,用LPA替代久坐行为会显著降低0.02个单位的zBMI,用久坐行为替代LPA则会增加0.02个单位的zBMI。其他元素的相互替代无显著性的体质量效益。

2.5 儿童24h活动替代时间与zBMI的剂量-效应

对于有显著性替代效应的24h活动行为要素(MVPA与LPA、久坐行为及睡眠、LPA与久坐行为),本研究进一步以5min为一次替代增量,持续延长时间至60min,探讨不同替代时间与zBMI的剂量-效应。结果显示,1)MVPA与LPA、久坐行为及睡眠之间的相互替代与zBMI的剂量-效应关系具有明显的不对称性(图1),即随着MVPA替代

其他活动行为时间的增加,zBMI会缓慢降低,反之则迅速上升。LPA和久坐行为相互替代对zBMI影响的差异并不明显,其剂量-效应关系具有对称性,即在60min内每增加5min的LPA减少久坐行为,zBMI就下降0.006个单位,而每增加5min的久坐行为减少LPA,zBMI就上升0.006个单位(图2)。2)随着MVPA替代久坐行为、睡眠和LPA的时间增加,zBMI呈不断下降趋势,降低幅度由大到小依次为MVPA替代久坐行为、睡眠和LPA。3)当MVPA替代LPA、久坐行为和睡眠的时间为5min,zBMI分别下降0.050、0.056、0.053个单位,但在随后的10~60min时间内,zBMI下降逐渐减慢,下降单位分别为0.016~0.043、0.023~0.049、0.019~0.045。当LPA、久坐行为和睡眠替代MVPA的时间为5min,其zBMI分别上升0.061、0.067、0.063个单位,但在随后的10~25min时间内,zBMI上升速度逐渐加快,上升单位分别为0.077~0.351、0.083~0.357、0.079~0.353。此结果说明,5min为MVPA与其他行为相互替代的体质量效益变化的转折点。

表3 身体活动、久坐行为和睡眠的时间分布与zBMI的成分线性回归

Table 3 Liner Regression Analysis with Compositional Data for ZBMI of the Time Spent in Physical Activity, Sedentary Behavior and Sleep

活动行为	β	P	模型P值	模型R ²
ILR MVPA/(睡眠*久坐行为*LPA)	-0.75	<0.001		
ILR LPA/(睡眠*久坐行为*MVPA)	-0.13	<0.05	<0.001	0.20
ILR 久坐行为/(睡眠*LPA*MVPA)	0.61	<0.001		
ILR 睡眠/(久坐行为*LPA*MVPA)	0.53	<0.01		

注: β 值是指给定行为相对其他行为的变化对zBMI的影响,如ILR MVPA/(睡眠*久坐行为*LPA)指MVPA相对于睡眠、久坐行为和LPA的变化对zBMI的影响。

表4 身体活动、久坐行为和睡眠15min等时替代与zBMI预测值变化(95%CI)

Table 4 Estimated Difference (95% CI) in ZBMI for 15-minute Isotemporal Substitution among Physical Activity, Sedentary Behavior and Sleep

	MVPA \uparrow	LPA \uparrow	久坐行为 \uparrow	睡眠 \uparrow
MVPA \downarrow	—	0.24(0.10,0.38)*	0.26(0.12,0.40)*	0.25(0.10,0.40)*
LPA \downarrow	-0.13(-0.21,-0.05)*	—	0.02(0.01,0.03)*	0.01(-0.01,0.02)
久坐行为 \downarrow	-0.15(-0.23,-0.07)*	-0.02(-0.03,-0.01)*	—	-0.01(-0.03,0.01)
睡眠 \downarrow	-0.14(-0.22,-0.05)*	-0.01(-0.02,0.01)	0.01(-0.01,0.03)	—

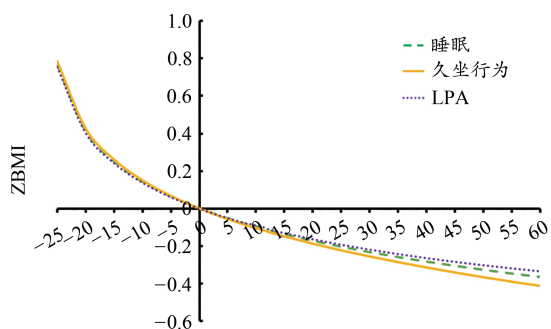
注:模型中调整了协变量性别和年龄;*代表 $P<0.05$; \uparrow 表示该活动行为时间增加15min, \downarrow 表示该活动行为减少15min。

3 讨论

有学者提出身体活动、久坐行为与睡眠时间3种24h活动要素存在相互联系、相互影响(Chastin et al., 2015; Pedišić et al., 2014; Prochaska, 2008)。本研究的变异矩阵分析结果证实了三者之间相互依赖,存在彼此转换的可能性。因此,探究24h活动各要素与zBMI的关系时,不能采用传统的统计方法。在所有活动要素中,久坐行为

和睡眠之间最有可能发生转换。这可能与中国家庭普遍重视儿童学业成绩有关。许多父母会减少孩子的睡眠时间,增加学习型久坐时间,而当学习时间减少,中国父母通常会要求孩子提早休息,补足睡眠时间(满盈盈等, 2016)。相反,LPA时间比例相对稳定,不易与其他行为时间发生转换。这是因为LPA是儿童生活中一种常见的活动形式,一些必要的日常活动如走路、休闲、课间玩耍等

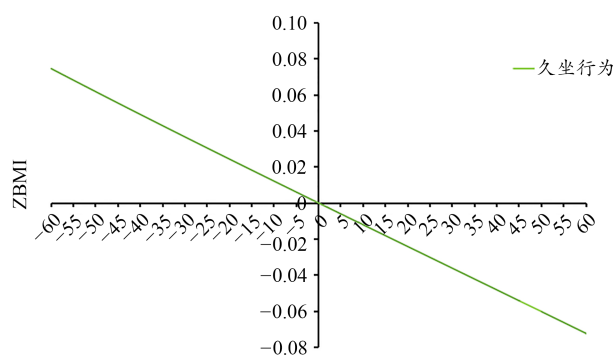
都属于 LPA 活动范畴 (Kwon et al., 2011), 因此, 这种活动不易被其他活动行为替换。



←睡眠、久坐行为、LPA替代MVPA | MVPA替代睡眠、久坐行为、LPA→

图1 MVPA等时替代其他活动行为对zBMI的影响

Figure 1. Changes in zBMI after MVPA Isotemporal Substitution for other Behaviors



←久坐行为替代LPA | LPA替代久坐行为→

图2 LPA等时替代久坐行为对zBMI的影响

Figure 2. Changes in zBMI after LPA Isotemporal Substitution for Sedentary Behavior

本研究旨在运用成分数据等距对数比转换的方式综合探究 MVPA、LPA、久坐行为和睡眠时间分布与 zBMI 的关系。研究显示, MVPA 与 LPA 时间占比与学龄儿童的 zBMI 呈显著性负相关, 久坐行为和睡眠时间占比则与学龄儿童的 zBMI 呈显著性正相关。这与既往采用成分分析方法研究的结果一致 (Carson et al., 2016; Chastin et al., 2015; Talarico et al., 2018), 也与各活动要素的能耗特点吻合。此研究表明, 要有效降低儿童肥胖风险, 需增加 MVPA 与 LPA 时间, 减少久坐行为和睡眠时间。

本研究还旨在探讨 24 h 活动各要素的等时替代对儿童 zBMI 的影响。等时替代结果显示, MVPA 与其他活动要素 (LPA、久坐行为、睡眠) 之间以及 LPA 与久坐行为之间的相互替代有显著的体质量效益。平均每天 15 min 的 MVPA 替代相同时长的 LPA、久坐行为和睡眠均会显著降低 zBMI 水平, 每天 15 min 的 LPA 替代相同时长的久坐行为也会显著降低 zBMI 水平。此研究表明, 对于上海市小学生的肥胖防控来说, MVPA 和 LPA 都具有重要意义。通过比较重新分配后的 zBMI 差异值, 本研究发现, 将 MVPA

时间分配给 LPA、久坐行为和睡眠时, zBMI 的变化最大, 其分别降低 zBMI 总体平均水平的 2.51%、2.86% 和 2.63%, 这也提示, 增加 MVPA 时间在降低儿童肥胖风险方面效果可能最佳, 再次验证过往研究中提及的 MVPA 是对儿童青少年健康最有益的活动强度 (关尚一等, 2013; August et al., 2008; Carson et al., 2016)。从生理机制的角度来看, MVPA 可以募集更多的快肌纤维, 引起肌肉的肥大和肌肉质量的增加, 促进运动中以及运动后的能量消耗, 增加瘦体重含量 (曹蕊等, 2019)。同时, 更高强度的身体活动可以刺激机体分泌更多种类的脂解激素 (如肾上腺素、去甲肾上腺素、生长激素等), 从而加速脂肪组织中甘油三酯的动员, 更有利于脂肪的分解 (朱显贵等, 2020)。

依据 MVPA 与 LPA 替换的显著性效应, 学校可通过在课间和体育与健康课上提高学生的活动强度, 以实现 LPA 与 MVPA 之间的转换。同时, 在校期间, 学校可通过减少学科课程, 增加体育与健康课, 实现久坐行为与 MVPA 之间的转换。放学后, 家长可通过适当缩短孩子的久坐行为, 如学习、屏幕行为、乐器练习等时间, 以 MVPA 活动取而代之, 从而维持合适的 zBMI 水平, 达到最佳效果。然而, 久坐行为与 MVPA 之间的转换在实际操作过程中面临诸多限制: 1) 减少学科课程、增加体育与健康课的操作难度较大; 2) 相对于 LPA, MVPA 活动目的性强, 活动强度更高, 激发学龄儿童参与 MVPA 活动需要强烈的动机, 对其生理及心理的挑战也更大; 3) 许多学校基于校园安全考虑, 对于学生参与强度较高的活动并不鼓励, 甚至加以限制 (方芳, 2017; 佟小玲, 2013)。鉴于 LPA 替换久坐行为同样可以达到减重效果, 本研究建议可以尽量完成久坐行为与 LPA 之间的转换。这种转化可以通过多种途径实现, 如鼓励学生在课间或午休时离开座位、教室到室外进行适当的走动, 步行上下楼梯, 打乒乓球等, 同样能够达到降低肥胖风险的效果。研究结果也提示, MVPA 替换睡眠时间也可降低 zBMI 水平。但在中国教育环境和课业压力的影响下, 我国学龄儿童普遍存在睡眠不足的问题。本研究发现, 上海市儿童平均每天睡眠时间为 583.45 min, 未达到教育部规定的保证小学生 10 h 睡眠时间的标准。由此, 从理论层面来看, 每天分配 15 min 的睡眠时间进行 MVPA 活动虽然可以有效降低肥胖风险, 但对于普遍睡眠缺乏的上海市学龄儿童而言, 这种牺牲睡眠时间进行的转换并不可取。

本研究针对有显著性替代效应的 24 h 活动要素 (MVPA 与其他行为的相互替代以及 LPA 与久坐行为之间的相互替代) 对于 zBMI 的影响进行了剂量-效应分析, 有以下主要发现: 1) 等时替代效益的对称性与不对称性。研究发现, MVPA 与其他行为的相互替代效应具有明显的不对称性, 即伴随 MVPA 替代 LPA、久坐行为、睡眠, 儿童的 zBMI 缓慢降低, 反之则迅速提升。这与既往成分替代研究的发

现一致(Curtis et al., 2020; Dumuid et al., 2018)。这可能与替代时间在不同活动总时间中的所占比重有关。例如, MVPA 移除 5 min 是本研究中儿童 MVPA 时间(29.42 min)的近 1/6, 大比例的时间被分配至其他行为自然会引起较大的替代效应;反之,久坐时间移除 5 min 仅为本研究中儿童久坐时间(539.45 min)的 1/100, 此微小的调整带来的影响基本可以忽略不计。本研究验证了人们在生活中普遍认为的“增重容易减肥难”的观点。根据中国儿童目前的 MVPA 参与水平,若继续减少其参与时间,哪怕每天减少 5 min,均会对其体质量的控制带来严重的负面影响。反之,要改善儿童肥胖问题,则需付出更大的努力,将更多的久坐行为、睡眠与 LPA 时间转化为 MVPA 才可取得比较有效的减重效果,维持健康的身体形态。不同的是, LPA 与久坐行为之间的相互替代结果显示,其具有对称性,即 LPA 替代久坐行为与久坐行为替代 LPA 的效应相仿,可能源于 LPA(287.86 min)与久坐时间(539.45 min)以及 LPA 与久坐行为的能耗差距较小。2)MVPA 替代久坐行为的减重效应最佳。相对于 LPA 与睡眠, MVPA 替代久坐行为对于 zBMI 的影响更强。一方面,由于在 LPA、睡眠与久坐 3 种行为中,上海市儿童普遍存在久坐时间过长的问题,从而带来机体代谢减慢、能量堆积、产生胰岛素抵抗等,进而引发肥胖以及其他疾病(Stephens et al., 2011; Tigbe et al., 2017);另一方面,相对于 LPA, MVPA 与久坐行为的能耗差距大,因此替代效果更佳,能够达到更好的减重效益。3)5 min 为 MVPA 替代的剂量-效应变化转折点。关尚一等(2013)对于美国儿童青少年身体活动与肥胖风险的剂量-效应研究发现,对于美国儿童青少年而言,30 min/天活动就能较好地预防青少年肥胖。本研究首次针对中国儿童讨论身体活动与 zBMI 的剂量-效应关系。根据剂量-关系曲线与分析结果, MVPA 替代 LPA、久坐行为与睡眠达到 5 min 后, zBMI 降低速度减缓,说明在目前 MVPA 活动(29.42 min/天)基础上,每天增加 5 min 的 MVPA 活动,即约 35 min/天的 MPVA 活动减重效率最高,此与关尚一等(2013)的分析相似。因此,在确定最适推荐量即每天 60 min MVPA 活动的同时,还有必要确定最低推荐量——每天转换 5 min 的其他行为为 MVPA,并保持每天 35 min 的 MVPA 活动时间。先设置 35 min/天的 MVPA 活动,既能较好控制肥胖风险,又能以最低推荐标准充分调动身体活动不足儿童的参与积极性,鼓励其循序渐进,逐渐过渡到 60 min/天的 MVPA 参与水平(关尚一等, 2013)。

4 研究的局限性

本研究运用成分分析方法,从时间分布及替代的角度探讨 24 h 活动行为间相互影响的关系。采用加速计的客观测量方式,保证了数据的精确性。然而,仍存在以下局

限性:1)本研究为横断面研究,其特征决定只能得出研究变量间的相关关系,无法进行因果推论;2)分析时仅控制了性别和年龄,并未对其他可能影响肥胖的因素(如饮食、父母的影响等)进行控制;3)仅对 zBMI 值进行测量,无法提供精确的体质量水平。在后续 24 h 活动与儿童肥胖关系的探讨中,需要进一步开展队列研究,将饮食、父母的影响等因素纳入分析,采用腰围、体脂率等更多样的测量指标,以得到更可靠的结论。

5 结论与建议

5.1 结论

1)MVPA 与 LPA 时间占比与学龄儿童的 zBMI 呈显著性负相关,久坐行为和睡眠时间占比则与学龄儿童的 zBMI 呈显著性正相关。2)MVPA 与 LPA、久坐行为和睡眠之间的相互替代对于 zBMI 具有显著性影响;替代效应具有不对称性,即伴随 MVPA 替代 LPA、久坐行为和睡眠,儿童的 zBMI 缓慢降低,反之则迅速提升;MVPA 替代久坐行为比替代 LPA 与睡眠的减重效应更佳,平均每天替代时间 5 min 效果最为突出。3)LPA 与久坐行为的相互替代具有显著的体质量效益,但比 MVPA 替代效应弱;其替代效应具有对称性,即 LPA 替代久坐行为与久坐行为替代 LPA 的效益相仿。

5.2 建议

1)学校可通过在课间和体育与健康课上提高学生的活动强度,以达到 LPA 与 MVPA 之间的转换,从而降低儿童的 zBMI 水平。2)鉴于 MVPA 替代久坐行为的减重效应最佳,在校期间,学校可通过减少学科课程、增加体育与健康课实现久坐行为与 MVPA 之间的转换。放学后,家长可通过适当缩短孩子的久坐行为,如学习、屏幕行为、乐器练习等时间,以 MVPA 活动取而代之。如在实际操作中存在限制,可通过减少学生课间的久坐时间,通过走动、上下楼梯、打乒乓球等,尽量完成久坐行为与 LPA 之间的转换。3)在确定最适推荐量即每天 60 min MVPA 活动的同时,还有必要确定最低推荐量——每天转换 5 min 的其他行为为 MVPA,并保持每天 35 min 的 MVPA 活动时间。

参考文献:

- 曹莹,全明辉,庄洁,2019.高强度间歇训练与中等强度持续训练对肥胖儿童身体成分和心血管功能影响的作用相似[J].中国组织工程研究,23(35):5732-5740.
- 常振亚,王树明,2020.24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,40(10):50-57.
- 方芳,2017.从司法案例大数据反观学校在校园安全事故中的责任与限度[J].现代教育管理,(6):59-64.
- 关尚一,朱为模,2013.身体活动与青少年肥胖风险的“剂量-效应”关系[J].上海体育学院学报,37(4):68-72.
- 贺刚,黄雅君,王香生,2011.加速度计在儿童体力活动测量中的应

- 用[J]. 体育科学, 31(8): 72-77.
- 黄婷婷, 王惠文, SAPORTAG, 2019. 成分数据的空间自回归模型[J]. 北京航空航天大学学报, 45(1): 93-98.
- 贾俐挺, 王黎荔, 山若青, 等, 2013. 温州市小学生超重肥胖现状及其影响因素分析[J]. 卫生研究, 42(2): 269-272.
- 李辉, 宗心南, 季成叶, 等, 2010. 中国2~18岁儿童青少年超重和肥胖筛查体重指数界值点的研究[J]. 中华流行病学杂志, 31(1): 616-620.
- 李新, 李晓彤, 王正珍, 等, 2017. 不同运动量对少年心肺耐力和身体成分影响的干预研究[J]. 中国体育科技, 53(5): 110-116.
- 满盈盈, 席薇, 张欣, 2016. 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, 31(18): 3733-3737.
- 宋俊辰, 李红娟, 王政淞, 2020. 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, 40(1): 79-88.
- 佟小玲, 2013. 解决体育教学中的安全问题及相关防范措施的研究[J]. 教学与管理, (24): 155-157.
- 张婷, 李红娟, 2020. 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, 40(9): 74-82, 97.
- 钟磊发, 周谷城, 范艳艳, 等, 2018. 青少年肥胖的危害、发生机制和防治概述[J]. 生物学教学, 43(8): 7-9.
- 朱显贵, 石旅畅, 张海峰, 2020. 不同强度运动对脂解激素的影响及在减肥机制中的作用研究进展[J]. 中国运动医学杂志, 39(7): 569-576.
- ANDERSON C B, HAGSTROMER M, YNGVE A, 2005. Validation of the PDPAR as an adolescent diary: Effect of accelerometer cut points[J]. *Med Sci Sport Exer*, 37(7): 1224-1230.
- AUGUST G P, CAPRIO S, FENNOY I, et al., 2008. Prevention and treatment of pediatric obesity: An endocrine society clinical practice guideline based on expert opinion[J]. *J Clin Endocr Metab*, 93(12): 4576-4599.
- CARSON V, TREMBLAY M S, CHAPUT J P, et al., 2016. Associations between sleep duration, sedentary time, physical activity, and health indicators among Canadian children and youth using compositional analyses 1[J]. *Appl Physiol Nutr Me*, 41(6(3)): 294-302.
- CHASTIN S F, PALAREA-ALBALADEJO J, DONTJE M L, et al., 2015. 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*, 10(10): 1-37.
- CHAYES F, 1960. On Correlation between Variables of Constant Sum[J]. *J Geophys Res*, 65(12): 4185-4193.
- CURTIS R G, DUMUID D, OLDS T, et al., 2020. The association between time-use behaviors and physical and mental well-being in adults: A compositional isotemporal substitution analysis[J]. *J Phys Act Health*, 17(2): 197-203.
- DUMUID D, PEDIŠIĆ Ž, STANFORD T E, et al., 2019. The compositional isotemporal substitution model: A method for estimating changes in a health outcome for reallocation of time between sleep, physical activity and sedentary behaviour [J]. *Stat Methods Med Res*, 28(3): 846-857.
- DUMUID D, STANFORD T E, MARTIN-FERNANDEZ J A, et al., 2018. Compositional data analysis for physical activity, sedentary time and sleep research[J]. *Stat Methods Med Res*, 27(12): 3726-3738.
- EGOZCUE J J, PAWLOWSKY-GLAHN V, MATEU-FIGUERAS G, et al., 2003. Isometric Logratio Transformations for Compositional Data Analysis[J]. *Math Geol*, 35(3): 279-300.
- KIM Y, BURNS R D, LEE D, et al., 2020. Associations of movement behaviors and body mass index: Comparison between a report-based and monitor-based method using Compositional Data Analysis[J]. *Int J Obes*, 45(1): 266-275.
- KWON S, JANZ K F, BURNS T L, et al., 2011. Association between light-intensity physical activity and adiposity in childhood[J]. *Pediatr Exerc Sci*, 23(2): 218-229.
- MEKARY R A, WILLETT W C, HU F B, et al., 2009. Isotemporal substitution paradigm for physical activity epidemiology and weight change[J]. *Am J Epidemiol*, 170(4): 519-527.
- PEARSON K, 1896. Mathematical contributions to the theory of evolution: On a form of spurious correlation which may arise when indices are used in the measurement of organs[J]. *Proc Roy Soc*, 60(1): 489-498.
- PEDIŠIĆ Ž, 2014. Measurement issues and poor adjustments for physical activity and sleep undermine sedentary behaviour research: The focus should shift to the balance between sleep, sedentary behaviour, standing and activity[J]. *Kinesiology*, 46(1): 135-146.
- PROCHASKA J O, 2008. Multiple health behavior research represents the future of preventive medicine [J]. *Prev Med*, 46(3): 281-285.
- STEPHENS B R, GRANADOS K, ZDERIC T W, et al., 2011. Effects of 1 day of inactivity on insulin action in healthy men and women: Interaction with energy intake[J]. *Metab Clin Exp*, 60(7): 941-949.
- TALARICO R, JANSSEN I, 2018. Compositional associations of time spent in sleep, sedentary behavior and physical activity with obesity measures in children[J]. *Int J Obes*, 42(8): 1508-1514.
- TIGBE W W, GRANAT M H, SATTAR N, et al., 2017. Time spent in sedentary posture is associated with waist circumference and cardiovascular risk[J]. *Int J Obes*, 41(5): 689-696.
- XU C X, ZHU H H, FANG L, et al., 2017. Gender disparity in the associations of overweight/ obesity with occupational activity, transport to/from work, leisure-time physical activity, and leisure-time spent sitting in working adults: A cross-sectional study[J]. *J Epidemiol*, 27(9): 401-407.
- ZHU Z, CHEN P, ZHUANG J, 2013. Intensity classification accuracy of accelerometer-measured physical activities in Chinese children and youth[J]. *Res Q Exerc Sport*, 84(2): 4-11.

The Association of the Body Mass Index of Children with 24-Hour Activity Composition and Isotemporal Substitution: A Compositional Data Analysis

LIANG Guo, WANG Lijuan*, CHEN Huan, LIN Hao, CHEN Yuan

School of Physical Education and Sport Training, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China

Abstract: Objective: To examine the relationships between 24-hour activity behaviors and body mass index (BMI) in Shanghai children by using compositional analyses. Methods: A cross sectional study was conducted on 321 primary school students (158 boys and 163 girls) aged 6–13 years in Shanghai. Time spent in 24-hour activity behaviors was determined by accelerometry, children's height and weight were measured by standard instruments. Compositional linear regression models were used to synthetically analyze the associations between the distribution of time spent 24-hour activity behaviors and zBMI, and the effect of compositional isotemporal substitution of 24-hour activity behaviors with zBMI was investigated as well. Results: 1) By controlling for gender and age, time spent in moderate-to-vigorous physical activity (MVPA) ($\beta=-0.75, P<0.001$) and light physical activity (LPA) ($\beta=-0.13, P<0.05$) was negatively associated with zBMI in children, while the time spent in sedentary behavior ($\beta=0.61, P<0.001$) and sleep ($\beta=0.53, P<0.01$) was positively correlated with zBMI; 2) The compositional isotemporal substitution models revealed reductions in zBMI when a 15-min reallocation from LPA, sedentary behavior and sleep to MVPA, and from sedentary behavior to LPA; however, a 15-min reallocation from MVPA to LPA, sedentary behavior and sleep, and from LPA to sedentary behavior was associated with higher zBMI; 3) According to the "dose-response" curves, firstly, the mutual substitution of MVPA and other activities has an asymmetric effect on zBMI and the substitution of LPA and sedentary behavior has a symmetrical effect on zBMI; secondly, the best reduction effect on zBMI is to replace sedentary behavior with MVPA; thirdly, with the increase time of MVPA isotemporal substitute other behaviors, the decrease in zBMI was slowed down, otherwise it increased rapidly. Conclusions: Parents and teachers should take 24-hour activities as a whole and attach great importance to the positive effects of MVPA and LPA, try to reallocate time from ST to MVPA and LPA of children so as to obtain better health benefits.

Keywords: physical activity; sedentary behavior; sleep; body mass index; compositional data analysis; isotemporal substitution

(上接第76页)

Acute Effects of High-Intensity Interval Training and Moderate-Intensity Continuous Training on Plasma Glucose, Insulin and Inflammatory Factors Levels in Type 2 Diabetic Men

CUI Xinwen¹, LI Lifeng², YANG Xingya¹, XU Jianfang^{1*}

1. China Institute of Sport Science, Beijing 100061, China; 2. Beijing Sport University, Key Laboratory of sports and physical health, Ministry of Education, Beijing 100084, China

Abstract: Objective: To compare the acute effects of highintensity interval training (HIIT) versus moderateintensity continuous training (MICT) on postprandial plasma glucose control and inflammatory factors in type 2 diabetic (T2D) men aged 30-50 years. Methods: 14 T2D men (42.6 ± 6.5 years old) underwent a randomized three crossover trial. The three interventions are as follows: HIIT, 7×1 min at 90% maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2max}$) + 7×2 min at 30% $\dot{V}O_{2max}$ + 4 min warming up at 60% $\dot{V}O_{2max}$ + 5 min cooling at 40% $\dot{V}O_{2max}$ with cycling; MICT, 30 min at 50% $\dot{V}O_{2max}$ with cycling, and a sedentary control (CON) in the postprandial state. Each intervention had a 10 days wash-out period. Plasma glucose, insulin, TNF- α and IL-6 levels were measured at pre-exercise, post-exercise and 1 h post-exercise. Two-way ANOVA with repeated measures were used to compare glucose, insulin, TNF- α and IL-6 values among the interventions. Results: Total energy expenditure between the two exercises was not significantly different. Lower plasma glucose levels were observed immediately after exercise in HIIT and MICT than that of CON ($P<0.001$), the glucose level in HIIT was also lower than that of MICT ($P<0.01$). Glucose levels in HIIT group was increased at 1 h post-exercise compared to immediately post-exercise ($P<0.05$), while the decrease (1 h post-exercise minus pre-exercise) of MICT group was more than that of CON group ($P<0.01$). HIIT and MICT ($P<0.01$) decreased the insulin levels compared to CON, while no difference was observed between the HIIT and MICT. HIIT ($P<0.001$) and MICT ($P<0.01$) increased the TNF- α levels at immediately after exercise but returned to the levels of pre-exercise at 1 h post-exercise. Different exercise types have no obvious effect on IL-6. Conclusion: Both acute HIIT and the matched MICT can lower postprandial plasma glucose and insulin levels in type 2 diabetic men aged 30-50 years, and temporarily increase the level of TNF- α . Compared with MICT, HIIT decreases glucose level greater at immediately post-exercise.

Keywords: highintensity intermittent exercise; moderateintensity continuous exercise; glucose, insulin, TNF- α ; type 2 diabetes