

# 基于等时替代模型的大学生24 h活动行为与健康体适能的关系

宋云峰<sup>1</sup>,李凯欣<sup>2</sup>,谭思洁<sup>1</sup>,齐玉刚<sup>3</sup>

(1.天津体育学院 运动健康学院,天津 301617;2.郑州大学 体育学院(校本部),郑州 450001;

3.天津科技大学 体育部,天津 300222)

**摘要:**[目的]运用成分等时替代模型探索在校大学生24 h活动行为与健康体适能之间的关系,为改善大学生人群的体质健康水平提供参考.[方法]选取天津某高校223名在校学生为研究对象,使用三维加速度计(Acti-Graph GT3X+)记录学生每天24 h活动行为,包括中高强度身体活动(MVPA)、低强度身体活动(LPA)、久坐时间(SB)和睡眠(SLP)时间.使用成分分析方法分析探讨各成分与健康体适能的关系,并以15 min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]仅MVPA与其他行为之间的替代与反替代均有统计学意义( $P<0.05$ ),其中MVPA和SB相互替代时变化幅度最大;LPA替代SB时,BMI指数、握力和坐位体前屈均显著升高,反之仅握力显著下降;LPA替代SLP时,BMI指数显著上升,反之显著下降;SLP替代SB时,BMI指数和腰围显著下降,反之均显著升高,并且升高的幅度更明显.[结论]MVPA是影响大学生群体体质健康发展的主要因素,在保证适度睡眠的同时,将SB转化为MVPA可能更有意义.

**关键词:**24 h活动行为;成分分析;等时替代;健康体适能

**中图分类号:**G804;C913.4

**文献标志码:**A

**文章编号:**1000-2367(2024)03-0150-07

健康体适能是评估个体执行中高强度体力活动能力的重要指标.它由一系列与体力活动能力相关的因素(如心肺功能、身体成分和骨骼肌功能)组成,与人的整体身体健康密切相关<sup>[1]</sup>.根据第八次全国学生体质与健康调研结果显示,大学生的肥胖率、心肺机能、肌肉力量和耐力等整体情况并没有改善,并且呈现下降的趋势<sup>[2]</sup>.距离达到《“健康中国2030”规划纲要》中的要求还有较大差距<sup>[3]</sup>.身体活动(physical activity, PA)、久坐行为(sedentary behavior, SB)和睡眠(sleep, SLP)共同构成一天24 h活动行为,3种行为间的相互替代是影响体质健康的重要因素<sup>[4-5]</sup>.MEKARY等<sup>[6]</sup>首次将等时替代模型(传统)引入到身体活动研究领域,用以分析中高强度体力活动(moderate and vigorous physical activity, MVPA)、低强度体力活动(light physical activity, LPA)、SB和SLP之间相互替代对体质健康的效益.然而,传统等时替代研究是将各行为作为独立的健康影响因素,未考虑这些因素从根本上是相互联系、相互影响的,通过构建回归模型会出现多重共线性的问题<sup>[7]</sup>.因此,CHASTIN等<sup>[8]</sup>将一种整合24 h内所有活动行为的成分分析方法引入至身体健康促进领域.成分分析方法能解释时间数据的定和性(所有指标之和为固定值),有效地解决了多重共线性的问题,它的结果可以更容易被健康促进研究应用<sup>[9]</sup>.目前,已有诸多研究运用成分分析方法探讨儿童青少年24 h活动行为与肥胖<sup>[10-11]</sup>、心脏代谢<sup>[12]</sup>和心理健康<sup>[13-14]</sup>之间的关联,但针对大学生24 h活动行为的改变与健康相关的研究尚缺乏.基于此,本研究旨在通过构建大学生24 h活动行为与健康体适能的成分等时替代模型,深入研究二者之间的关系及替代效应,为改善大学生人群的体质健康水平提供参考.

**收稿日期:**2023-10-17;**修回日期:**2024-01-12.

**基金项目:**国家社科基金(BLA220234).

**作者简介:**宋云峰(1998-),男,山西临汾人,天津体育学院硕士研究生,主要研究方向为运动与健康促进.

**通信作者:**齐玉刚,教授,研究方向体质与健康促进.E-mail:qiuyugang2004@163.com.

**引用本文:**宋云峰,李凯欣,谭思洁,等.基于等时替代模型的大学生24 h活动行为与健康体适能的关系[J].河南师范大学学报(自然科学版),2024,52(3):150-156.(Song Yunfeng, Li Kaixin, Tan Sijie, et al. Relationship between 24 h activity behavior and health fitness of college students based on isochronous substitution models[J]. Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition), 2024, 52(3): 150-156. DOI:10.16366/j.cnki.1000-2367.2023.10.17.0002.)

## 1 研究对象

以方便抽样的形式,于2023年5月至6月在天津一所高校对在校大学生进行测试调查,采用随机抽样法,在每年级随机抽取2个班级,共抽取到374人。对符合标准的学生签署知情同意书,纳入标准:身体健康、无运动禁忌症、自愿参加本研究。排除标准:1)患有心脏病、呼吸系统、肝脏或肾及其他慢性疾病者;2)未能按要求佩戴加速度计;3)24 h活动行为数据缺失者。研究得到天津体育学院伦理委员会批准(TJUS2022-009)。经纳入排除后最终共有223人(男117人,女106人)参加本次研究,具体见附录表S1。男生与女生体脂率无显著性差异,但其余健康体适能指标均具有显著性差异。

## 2 研究方法

### 2.1 测量方法

活动行为的测量:采用三维加速度计(ActiGraph GT3X+)客观测量受试者身体活动(MVPA和LPA)与SB时间,睡眠时间由1440 min(每天)减去其他行为时间获得<sup>[13]</sup>。受试者按要求将加速度计佩戴在右髌,佩戴时长总计为7 d,水上活动除外,并严格要求其睡觉前摘下与觉醒后即刻佩戴加速度计。加速度计参数内容具体(表1):采样间隔、未佩戴定义、有效佩戴天数、每日佩戴时长、当天有效数据、不同强度切点等。

表1 ActiGraph GT3X+身体活动测量参数设置

Tab. 1 ActiGraph GT3X+ physical activity measurement parameter settings

参数内容	参数设置	参数内容	参数设置
测试仪器	ActiGraph GT3X+	不同强度阈值	见文献[15]
采样间隔	60 s	SB采样频率	<199/min
未佩戴定义	Choi算法	LPA采样频率	[199, 2 689] r/min
每天佩戴时长当天有效数据	≥600 min	MVPA采样频率	≥2 690/min
有效数据纳入分析	至少4 d,3个工作日和1个周末日		

体成分测试:使用生物电阻抗装置(Inbody770,韩国)获取受试者体质量、BMI、体脂率等体成分参数。

腰围测试:通过软皮尺进测量。测试时受试者双臂交叉抱于胸前,测试人员面对受试者,将软皮尺经脐上0.5~1.0 cm水平环绕1周,测量的结果精确到0.1 cm。每位受试者测2次,采用2次测量平均值进行处理。

最大摄氧量( $\dot{V}_{O_{2max}}$ )测试: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最大摄氧量进行测量。二级负荷试验全程维持7 min,整个运动过程中受试者始终以60 r/min的转速蹬踏功率车,初始30 s为零负荷热身阶段,每3 min增加一个负荷等级(25 W),共增2次,最后30 s为零负荷恢复阶段。 $\dot{V}_{O_{2max}}$ 是基于年龄、性别,通过强度、心率推导回归方程计算,精确到0.1 mL/(kg·min)<sup>[16]</sup>。

肺活量测试:通过电子肺活量测试仪(北京鑫东华腾)进行测试。测试时要求受试者保持放松状态,站立位深吸一口气,然后慢慢向口嘴处呼气。每位受试者均测试2次,每次间隔15 s,取2次中的最好成绩。

握力测试:运用电子握力计(北京鑫东华腾)进行测量。受试者使用优势肢用最大力度握柄,每位受试者测2次,每次间隔10 s,取2次中的最好成绩。

柔韧性测试:采用体前屈测试仪(北京鑫东华腾)进行测量,受试者平坐在测试纵板上,双腿伸直向前推动卡标,直到不能推动为止。每位受试者测2次,取2次中的最好成绩。

### 2.2 质量控制

本试验在天津体育学院体质监测中心进行,为了避免测试过程中数据测试出现误差,本试验测试由专门测试人员进行。

### 2.3 统计学处理

本研究遵循DUMUID等<sup>[9]</sup>提出的成分等时替代法,并运用R4.2.3软件中的compositions包对数据进行统计与分析。

1)成分描述统计计算包括成分几何均值和变异方差矩阵<sup>[17]</sup>。

2)使用等距对数比转换(isometric log ratio, ilr)对成分数据进行多元回归分析.通过 R 软件中 compositions 的 ilr 函数将 MVPA、LPA、SB、SLP 时间转换为相互独立的成分数据,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.在将每种行为均作为首个分量后,最终得到 4 组数据,每组包含 3 个 ilr 坐标<sup>[9]</sup>.以性别、年龄作为协变量,得到的 4 组坐标作为自变量,体质健康相关指标作为结局变量,在此基础上建立成分等时替代模型.

3)根据所建立的等时替代模型,采用 DUMUID 建立的方法<sup>[9]</sup>对时间进行替换分析.15 min 的活动行为变化会对健康指标产生明显影响<sup>[18]</sup>.故将某一行为的 15 min 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.

### 3 研究结果与分析

#### 3.1 大学生 24 h 活动时间分布

1)由表 2 知算术平均值对成分数据中 MVPA(3.40%)和 LPA(11.46%)时间有一定程度高估,对 SB(45.09%)和 SLP(40.04%)时间有一定程度低估.根据成分几何均值情况,数据的分布情况符合成分数据的分析要求.

表 2 24 h 活动行为的算术平均值和成分几何均值

Tab. 2 Arithmetic means and component geometric means of 24 h activity behavior

行为	时间算术平均值/min (占比/%)	时间成分几何均值/min (占比/%)	行为	时间算术平均值/min (占比/%)	时间成分几何均值/min (占比/%)
MVPA	48.96(3.40)	43.08(3.07)	SB	649.27(45.09)	646.01(46.12)
LPA	165.06(11.46)	150.31(10.73)	SLP	576.71(40.04)	561.27(40.07)

2)依据变异矩阵(表 3)可知,SB 与 SLP 的相互依赖性最高( $\ln(\text{SB 时间}/\text{SLP 时间})=0.12$ ),更容易发生转换;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.

表 3 MVPA、LPA、SB 和 SLP 时间使用的变异方差矩阵

Tab. 3 Variational variance matrix for MVPA, LPA, SB and SLP

行为时间	MVPA	LPA	SB	SLP	行为时间	MVPA	LPA	SB	SLP
MVPA	0.00	0.36	0.45	0.40	SB	0.45	0.26	0.00	0.12
LPA	0.36	0.00	0.26	0.37	SLP	0.40	0.37	0.12	0.00

#### 3.2 大学生 24 h 活动行为 15 min 等时替代对健康体适能的影响

以 15 min 为替代时间,对于大学生 BMI 指数、体脂率、腰围、肺活量、最大耗氧量( $\dot{V}_{O_{2\max}}$ )、握力和坐位体前屈指标的活动行为间替代,结果见表 4.表 4 数据意义举例:以 LPA 替代 SB15 min, BMI 指数平均升高  $0.12 \text{ kg/m}^2$ .仅 MVPA 与其他行为之间的替代与反替代均有统计学意义( $P < 0.05$ ),其中 MVPA 和 SB 相互替代时变化幅度最大;LPA 替代 SB 时, BMI 指数、握力和坐位体前屈均显著升高,反之仅握力显著下降;LPA 替代 SLP 时, BMI 指数显著上升,反之显著下降;SLP 替代 SB 时, BMI 指数和腰围显著下降,反之均显著升高,并且升高的幅度更明显.其他活动相互替代没有显著影响.

### 4 讨论

以往研究忽略了 24 h 活动行为之间的内在联系,一些研究证实使用传统统计分析可能导致错误结果<sup>[8-9,19]</sup>,研究可能存在局限性.因此,本文通过成分分析方法解决传统统计中遇到的“共线性”问题,构建成分等时替代模型探讨 24 h 活动行为与健康体适能之间的关系,以更有意义的方式解释研究结果.

通过几何均值和变异方差矩阵分析了在校大学生日常活动时间的分布情况,发现大学生一天的时间主要集中在 SB 和 SLP 上,而 MVPA 仅仅为  $43.08 \text{ min/d}$ ,占一天总时间的  $3.07\%$ .这与最近一项流行病学调查显示我国大学生每日体育锻炼时间不足 1 h 的结果相符<sup>[20]</sup>.同时,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<sup>[8]</sup>,尤其是 SB 与 SLP 最容易发生转换,这与大学生学习任务较为繁重,上课、做实验等活

动导致睡眠时间减少有关,而当学习时间减少时,大学生通常会代偿性的补足睡眠时间.SB 与 MVPA 发生转换的可能性最低.这可能与个人生活习惯难以改变有关.此外,LPA 的时间相对稳定,不易于其他行为进行转换.

表 4 24 h 活动行为 15 min 等时替代对健康体适能的影响

Tab. 4 The effect of 15 min isochronous substitution for 24 h activity behavior on health fitness

参数	被替代行为	替代影响(95%CI)			
		SB ↑	LPA ↑	MVPA ↑	SLP ↑
BMI 指数/ (kg · m <sup>-2</sup> )	SB ↓		0.12(0.03~0.20) *	-0.21(-0.27~-0.15) *	-0.05(-0.07~-0.04) *
	LPA ↓	-0.11(-0.27~0.04)		-0.08(-0.12~-0.04) *	-0.10(-0.15~-0.05) *
	MVPA ↓	0.29(0.22~0.36) *	0.17(0.03~0.31) *		0.26(0.20~0.32) *
	SLP ↓	-0.03(-0.12~0.06)	0.13(0.05~0.22) *	-0.18(-0.22~-0.15) *	
体脂率/%	SB ↓		0.02(-0.25~0.29)	-0.61(-1.11~-0.12) *	0.02(-0.13~0.17)
	LPA ↓	-0.03(-0.32~0.27)		-0.54(-1.02~-0.06) *	-0.01(-0.27~0.25)
	MVPA ↓	0.69(0.20~1.18) *	0.71(0.22~1.20) *		0.71(0.19~1.23) *
	SLP ↓	-0.02(-0.17~0.13)	0.00(-0.23~0.24)	-0.50(-1.04~-0.14) *	
腰围/cm	SB ↓		-0.05(-0.10~0.01)	-0.21(-0.31~-0.09) *	-0.07(-0.09~-0.05) *
	LPA ↓	0.06(0.01~0.11) *		-0.14(-0.24~-0.04) *	0.03(-0.03~0.07)
	MVPA ↓	0.19(0.13~0.25) *	0.23(0.06~0.39) *		0.19(0.05~0.33) *
	SLP ↓	0.13(0.02~0.24) *	-0.05(-0.12~0.02)	-0.16(-0.27~-0.06) *	
肺活量/mL	SB ↓		29.97(-1.02~60.96)	159.62(88.49~230.75) *	16.75(-0.71~34.21)
	LPA ↓	-31.10(-64.46~2.26)		128.16(49.63~206.68) *	-14.72(-44.22~14.79)
	MVPA ↓	-221.47 (-322.26~-120.68) *	-191.87 (-297.90~-85.83) *		-205.09 (-307.76~-102.41) *
	SLP ↓	-16.41(-33.88~1.06)	13.20(-13.92~40.31)	142.85(69.82~215.88) *	
$\dot{V}O_{2max}/$ (mL · kg <sup>-1</sup> · min <sup>-1</sup> )	SB ↓		-0.08(-0.42~0.26)	1.92(0.94~2.90) *	0.08(-0.11~0.27)
	LPA ↓	0.10(-0.27~0.47)		1.82(0.95~2.68) *	0.17(-0.15~0.50)
	MVPA ↓	-2.43(-3.54~-1.32) *	-2.51(-3.68~-1.34) *		-2.35(-3.48~-1.22) *
	SLP ↓	-0.08(-0.27~0.12)	-0.16(-0.46~0.14)	1.64(0.84~2.45) *	
握力/ (kg · g)	SB ↓		0.58(0.23~0.93) *	1.42(0.61~2.23) *	0.17(-0.03~0.37)
	LPA ↓	-0.61(-0.99~-0.24) *		0.80(0.09~1.51) *	-0.45(-0.78~-0.11) *
	MVPA ↓	-1.95(-3.09~-0.80) *	-1.37(-2.58~-0.17) *		-1.78(-2.95~-0.61) *
	SLP ↓	-0.17(-0.37~0.03)	0.40(0.10~0.71) *	1.24(0.41~2.08) *	
坐位体前屈/ cm	SB ↓		0.17(0.07~0.27) *	0.30(0.25~0.35) *	0.05(-0.19~0.28)
	LPA ↓	-0.19(-0.44~0.07)		0.11(0.05~0.17) *	0.13(-0.09~0.36)
	MVPA ↓	-0.40(-0.42~-0.38) *	-0.23(-0.59~0.13)		-0.35(-0.44~-0.26) *
	SLP ↓	-0.05(-0.08~0.19)	0.03(-0.09~0.15)	0.24(0.16~0.32) *	

注: ↑代表该活动行为时间增加 15 min, ↓代表该活动行为时间减少 15 min. \* 代表  $P < 0.05$ .

本研究发现 LPA 替代 SB 时,BMI 指数不降反升.这与当下大多数人认为任何类型的身体活动均要优于 SB 的观点相矛盾.这可能与大学生 SB 的类型有关,而加速度计无法辨别 SB 的具体类型.COOMBBS 等<sup>[21]</sup>发现,视屏时间与 BMI、体脂率等肥胖指标有关,但学习、阅读书籍等行为则与其没有关联.提示未来研究应考虑使用经过验证的自我报告的身体活动问卷来收集 SB 类型,以区分 SB 类型差异.值得注意的是,将 LPA 替代 SB 后,可有效地增加大学生的上肢肌肉力量.这一结果与文献<sup>[10-11]</sup>存在分歧.可能的原因在于加速度计被佩戴在右髌部位,无法辨识上肢的体力活动形式和强度,导致对 LPA 时间的过高估计.此外,还与采用的 LPA 强度分界值有关.研究表明使用不同的体力活动强度切点会显著影响体力活动水平的评价结

果<sup>[11]</sup>。目前,基于加速度计建立的 LPA/SB 强度分界值存在较大差异,较低的 LPA/SB 强度分界值会混淆 LPA 和 SB 的部分时间,最终混淆两者对体质健康的效益,提示 LPA 对体质健康的影响需要进行更多的研究加以验证,以便更准确地评估 SB 和 LPA 的影响。

等时替代分析发现 MVPA 对大学生体成分、肌力、心肺适能和柔韧性都有积极影响,说明 MVPA 是影响大学生体质健康发展的主要因素。首先,已有研究证实 MVPA 能有效促进机体释放多种脂解激素,从而增加能量消耗和脂肪氧化,进而对 BMI 指数、腰围和体脂率产生有益效果。这与滕金丽<sup>[22]</sup>、齐玉刚等<sup>[23]</sup> 研究结果一致。其次,与 LPA 相比,MVPA 对肌力和柔韧性的提升效果更显著。从生理学角度分析,MVPA 的能耗系统主要为无氧代谢,肌肉爆发力的供能系统为 ATP-CP<sup>[24]</sup>,因此 MVPA 产生的生理适应足以达到提高爆发力的阈值,甚至达到影响力量的表现。由于大学生日常 MVPA 时间主要来自体育课,体育课内容的选择也会影响反馈效果。本研究受试者的体育课主要以拉伸和有氧练习为主,因此相比于 LPA,更有效地改善了大学生的身体柔韧性<sup>[25]</sup>。同时,本研究发现 MVPA 对心肺适能具有积极作用。一项针对久坐大学生的干预研究发现,进行 MVPA 干预后久坐大学生  $\dot{V}_{O_{2max}}$  显著提高<sup>[26]</sup>,这说明 MVPA 对提高心肺适能具有重要意义。但也有成分分析研究发现 MVPA 与心肺适能并无关联<sup>[10]</sup>,这可能与受试群体、有氧耐力指标的选择和测试方法不同有关。本研究还发现 MVPA 替代 SB 时效益最佳。这与 MEYER 等<sup>[27]</sup> 在 20~35 岁健康成人中等时替代的结果相符,该作者认为 MVPA 与 SB 交互影响,只有增加 MVPA 的同时减少 SB 才能对人体健康起到更积极的效果。类似的研究中也发现相似的结果,如 DEL 等<sup>[28]</sup> 构建的等时替代模型研究中发现,MVPA 替代 SB 对老年人体成分的重要性,促使 SB 向 MVPA 转化可以更有效地改善老年人的健康问题。另一项研究中,对  $\geq 60$  岁老年人使用等时替代的方法,发现用 30 min MVPA 替代 SB 对身体成分和握力水平将产生最大的健康效益<sup>[29]</sup>。究其原因,可能由于 MVPA 与 SB 的能耗差距大,因此替代效果更佳,健康效益也更好。本研究再次证实了减少 SB、增加 MVPA 时间对提高健康水平的重要性。等时替代后各健康指标的定量变化具有明显的不对称性。MVPA 被其他行为替代后,指标变化的幅度要比 MVPA 分别替代其他行为时指标变化的幅度大。这一现象与 CHASTIN 等<sup>[8]</sup>、DUMUID 等<sup>[18]</sup> 对儿童青少年构建成分等时替代模型的研究结果相一致。这种不对称性可能与替代时间在不同活动总时间中的占比有关。如 15 min/d 的替代时长,仅占本研究大学生每日 SB 时间的 2%,但却占 MVPA 时间的 35%。如果将这 15 min 从 MVPA 总时间中重新分配到其他活动中,如此大比例的变化自然会引起较大的替代效应;反之,对于 SB 来说,这 15 min 的调整只是一个微小的调整,因此造成了变化幅度不对称。

此外,本研究发现,SLP 替代 SB 后 BMI 指数和腰围均显著下降,表明 SLP 在一定程度上有助于减脂。充足的睡眠有利于机体消除疲劳,促进新陈代谢,进而产生一定的减脂效果,而睡眠不足相应地会影响个体积极的生活方式。尽管本研究未发现 SLP 对大学生其他健康体适能指标有统计学意义,但其影响均是积极的。在中国教育环境和课业压力的影响下,大学生普遍存在睡眠不足的问题,因此大学生群体应避免以牺牲睡眠时间为代价来增加身体活动。虽然 SLP 的健康效益与 MVPA 相比较为微弱,但 SLP 在大学生每日 24 h 中时间的占比约为 40%,这提示在重视 MVPA 的健康效益时也不能忽视 SLP 的影响。

## 5 结 论

在 24 h 活动行为中,大学生 LPA 时间相对稳定,以久坐和睡眠时间为主,日常 MVPA 时间最少;替代模型中 MVPA 是影响大学生群体体质健康发展的主要因素,并且替代 SB 的效果最佳;SLP 对 BMI 指数和腰围具有正向效益,但比 MVPA 替代效应弱;SB 和 LPA 基本不利于健康体适能的发展。因此,针对该群体,保证适度的睡眠,以 MVPA 为重点的健康干预措施可能更为可行。

附录见电子版(DOI:10.16366/j.cnki.1000-2367.2023.10.17.0002)。

## 参 考 文 献

- [1] 陈华卫,吴雪萍,窦丽,等.美国《视障青少年健康体适能测试》解析及启示[J].上海体育学院学报,2019,43(5):50-57.  
CHEN H W, WU X P, DOU L, et al. Health-related physical fitness test of VI youngsters in US and its revelation[J]. Journal of Shanghai

- University of Sport,2019,43(5):50-57.
- [2] 教育部体育卫生与艺术教育司.第八次全国学生体质与健康调研结果发布[J].中国学校卫生,2021,42(9):1281-1282.
- [3] 中共中央 国务院印发《“健康中国 2030”规划纲要》[EB/OL].[2023-10-02].[https://www.gov.cn/zhengce/2016-10/25/content\\_5124174.htm?eqid=f087d66a0002eff600000004646c2ca1](https://www.gov.cn/zhengce/2016-10/25/content_5124174.htm?eqid=f087d66a0002eff600000004646c2ca1).
- [4] TREMBLAY M S,LEBLANC A G,KHO M E,et al.Systematic review of sedentary behaviour and health indicators in school-aged children and youth[J].The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity,2011,8:98.
- [5] JANSSEN I,LEBLANC A G.Systematic review of the health benefits of physical activity and fitness in school-aged children and youth [J].The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity,2010,7:40.
- [6] MEKARY R A,WILLETT W C,HU F B,et al.Isotemporal substitution paradigm for physical activity epidemiology and weight change [J].American Journal of Epidemiology,2009,170(4):519-527.
- [7] KUZIK N,POITRAS V J,TREMBLAY M S,et al.Systematic review of the relationships between combinations of movement behaviours and health indicators in the early years(0-4 years)[J].BMC Public Health,2017,17(Suppl 5):849.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [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 Science and Technology,2022,58(12):91-97.
- [11] 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.
- [12] FANG H,QUAN M H,ZHOU T,et al.Relationship between physical activity and physical fitness in preschool children: a cross-sectional study[J].BioMed Research International,2017,2017:9314026.
- [13] JANSSEN I,ROBERTS K C,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].Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 2017,42(7):725-731.
- [14] 孙禧斌,黄宝莹,范子良,等.基于成分等时替代模型的高中生身体活动与焦虑症状相关性分析[J].现代预防医学,2021,48(18):3277-3280.  
SUN X B,HUANG B Y,FAN Z L,et al.Correlation analysis between physical activity and anxiety in high school students based on compositional isotemporal substitution model[J].Modern Preventive Medicine,2021,48(18):3277-3280.
- [15] SASAKI J E,JOHN D,FREEDSON P S.Validation and comparison of ActiGraph activity monitors[J].Journal of Science and Medicine in Sport,2011,14(5):411-416.
- [16] 何荣,张丽,李鹏,等.有氧运动对不同血糖水平男性人群动脉僵硬度的即时影响研究[J].中国全科医学,2023,26(24):2997-3004.  
HE R,ZHANG L,LI P,et al.Immediate effects of aerobic exercise on arterial stiffness in a male population with different blood glucose levels[J].Chinese General Practice,2023,26(24):2997-3004.
- [17] AITCHISON J.The statistical analysis of compositional data[J].Journal of the Royal Statistical Society:Series B(Methodological),1982,44(2):139-160.
- [18] DUMUID D,PEDIŠIĆ Ž,STANFORD T E,et al.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].Statistical Methods in Medical Research,2019,28(3):846-857.
- [19] 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.  
HUANG B Y,TAN J Y,LIU Q,et al.Comparison and empirical study of the application of compositional isotemporal substitution model and non-compositional isotemporal substitution model in the research field of health effects of physical activity[J].China Sport Science, 2022,42(2):51-58.
- [20] 王政和,董彦会,宋逸,等.中国 2014 年 9~22 岁学生体育锻炼时间不足 1 小时的流行现状与影响因素分析[J].中华流行病学杂志, 2017,38(3):341-345.  
WANG Z H,DONG Y H,SONG Y,et al.Analysis on prevalence of physical activity time <1 hour and related factors in students aged 9-22 years in China,2014[J].Chinese Journal of Epidemiology,2017,38(3):341-345.
- [21] COOMBS N A,STAMATAKIS E.Associations between objectively assessed and questionnaire-based sedentary behaviour with BMI-defined obesity among general population children and adolescents living in England[J].BMJ Open,2015,5(6):e007172.
- [22] 滕金丽.有氧运动联合抗阻锻炼对 48 名单纯性肥胖学生减肥效果的影响[J].现代预防医学,2019,46(9):1631-1634.

- TENG J L.Effect of aerobic exercise combined with anti-resistance exercise on weight loss of 48 simple obesity students[J].*Modern Preventive Medicine*,2019,46(9):1631-1634.
- [23] 齐玉刚,王津,徐冬青.有氧抗阻结合与单纯有氧运动减重干预的对比研究[J].*天津体育学院学报*,2020,35(5):541-544.  
QI Y G,WANG J,XU D Q.Comparison of the effects of aerobic-resistance and aerobic training on body weight control in female university students with obesity[J].*Journal of Tianjin University of Sport*,2020,35(5):541-544.
- [24] 王瑞元,苏全生.运动生理学[M].北京:人民体育出版社,2012.
- [25] 李芳,郑丽敏.健美操专项柔韧素质训练方法实验比较研究[J].*武汉体育学院学报*,2011,45(9):84-88.  
LI F,ZHENG L M.Comparison of flexibility training methods of calisthenics majors[J].*Journal of Wuhan Institute of Physical Education*,2011,45(9):84-88.
- [26] 苏利强,陈海春,温岱宗,等.探索高强度运动对久坐少动生活方式大学生代谢应答的影响[J].*中国体育科技*,2021,57(12):63-74.  
SU L Q,CHEN H C,WEN D Z,et al.Effect of high intensity exercise on metabolic response sedentary lifestyle in college students[J].*China Sport Science and Technology*,2021,57(12):63-74.
- [27] MEYER J D,ELLINGSON L D,BUMAN M P,et al.Current and 1-year psychological and physical effects of replacing sedentary time with time in other behaviors[J].*American Journal of Preventive Medicine*,2020,59(1):12-20.
- [28] DEL POZO-CRUZ B,GANT N,DEL POZO-CRUZ J,et al.Relationships between sleep duration,physical activity and body mass index in young New Zealanders;an isotemporal substitution analysis[J].*PLoS One*,2017,12(9):e0184472.
- [29] 吴志建,王竹影,郑贺.基于等时替代的久坐行为、身体活动与老年人身体成分和握力的关系[J].*北京体育大学学报*,2022,45(3):94-103.  
WU Z J,WANG Z J,ZHENG H.Relationships between sedentary behavior,physical activity and body composition and grip strength in older adults based on isochronous substitution[J].*Journal of Beijing Sport University*,2022,45(3):94-103.

## Relationship between 24 h activity behavior and health fitness of college students based on isochronous substitution models

Song Yunfeng<sup>1</sup>, Li Kaixin<sup>2</sup>, Tan Sijie<sup>1</sup>, Qi Yugang<sup>3</sup>

(1. School of Sports Health, Tianjin Institute of Sports, Tianjin 301617, China; 2. School of Physical Education and Sports(School Headquarters), Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 3. Department of Sports, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** [Objective] This study used the component isochronous substitution model to explore the relationship between 24 h activity behaviors and health fitness among college students, providing a reference for improving the physical fitness and health of the college population. [Methods] In this study, 223 students enrolled in a university in Tianjin were selected as the study subjects. ActiGraph GT3X+ was used to record the students' activity behaviors for 24 h per day, including moderate and vigorous physical activity(MVPA), light physical activity(LPA), sedentary behavior(SB), and sleep(SLP) time. Component analysis was used to analyze and explore the relationship between each component and health fitness, and an isochronous substitution model was built with 15 min to predict the effects on outcome variables after substitution of each activity behavior. [Results] The substitution and counter-substitution between MVPA and other behaviors only were statistically significant( $P < 0.05$ ), with the largest changes when MVPA and SB substituted for each other; when LPA substituted for SB, BMI index, grip strength and seated forward bending all significantly increased, and vice versa only grip strength significantly decreased; when LPA replaced SLP, BMI index significantly increased, and vice versa significantly decreased; when SLP replaced SB, BMI index and waist circumference significantly decreased, and vice versa both significantly increased, and the magnitude of the increase was more pronounced. [Conclusion] MVPA is a major factor affecting the development of physical fitness in the college population, and it may be more meaningful to convert SB to MVPA while ensuring moderate sleep.

**Keywords:** 24 h activity behavior; component analysis; isochronous substitution; health fitness

[责任编辑 杨浦 刘洋]

## 附 录

表 S1 受试者基本情况

Tab. S1 Basic information of subjects

变量	年龄/岁	样本数	BMI 指数	体脂率/%	腰围/cm	肺活量/ mL	$V_{O2max}/(mL \cdot$ $kg^{-1} \cdot min^{-1})$	握力/ (kg · g)	坐位体前 屈/cm
男	19.68±1.22	117	23.73±5.24	21.60±8.28	77.27±11.09	4 456.90±699.18	46.84±9.54	41.68±9.61	10.68±6.77
女	19.49±1.31	106	21.92±3.75	26.02±7.07	69.84±8.17	3 028.90±606.25	47.57±7.86	25.62±5.02	16.31±6.20
总体	19.57±1.26	223	22.76±4.58	24.05±7.92	74.97±13.12	3 667.17±971.25	47.23±8.65	32.80±10.91	13.80±7.03
<i>P</i>			0.042	0.084	0.047	<0.001	0.033	<0.001	<0.001