

·运动人体科学·

## 成分等时替代模型分析大学生 24 h 活动行为与自测健康的关联

李凯欣<sup>1</sup>, 赵越<sup>2</sup>, 肖绛<sup>1</sup>, 彭俊歌<sup>2</sup>, 李晏<sup>3</sup>

(1.郑州大学 体育学院(校本部), 河南 郑州 450001; 2.郑州大学 公共卫生学院, 河南 郑州 450001;  
3.郑州大学第二临床医学院 体育学院(校本部), 河南 郑州 450001)

**摘 要:** 对河南省某高校 1 406 名 18~24 岁大学生开展横断面调查, 通过国际体力活动问卷与匹兹堡睡眠指数量表进行 24 h 活动行为调查, 采用自测健康评定量表评估健康水平, 运用成分分析和等时替代模型方法分析大学生 24 h 活动行为与自测健康的关联及替代效应。结果显示: (1)24 h 活动行为与大学生自测健康各因子、维度及总分均显著相关( $P<0.001$ ), MVPA、LPA 及睡眠时间占比均与大学生自测健康总分呈显著正相关(MVPA:  $\beta=3.68$ ,  $P<0.05$ ; LPA:  $\beta=1.45$ ,  $P=0.05$ ; 睡眠:  $\beta=1.95$ ,  $P<0.05$ ), 久坐行为时间占比与大学生自测健康总分呈显著负相关( $\beta=-4.31$ ,  $P<0.05$ ); (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大学生自测健康得分均显著上升, 且 MVPA 替代久坐行为对提高自测健康得分的效应最佳; (3)在从-40 min 到 40 min 的剂量-效应关系中, 其他行为替代 MVPA 产生的不利影响大于 MVPA 替代其他行为产生的益处, 同时 5 min 是健康效益变化的最佳转折点。研究认为, 大学生 24 h 活动行为的综合效应值需高度重视, 尤其应关注 MVPA 不足和久坐时间过长对大学生整体健康的负面影响。促使久坐行为向 MVPA 适度转化可以有效改善大学生的健康水平, 而睡眠可能是健康干预的另一重要方向。此外, 每天 45 min 的 MVPA 最低推荐量能够让大学生获得最高效的体质健康效益。

**关 键 词:** 24 h 活动行为; 成分分析; 等时替代模型; 自测健康; 大学生

**中图分类号:** G806 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7116(2025)02-0139-08

### Compositional isochronous substitution model to analyse the association between 24-h movement behaviour and self-measurement health for university students

LI Kaixin<sup>1</sup>, ZHAO Yue<sup>2</sup>, XIAO Jiang<sup>1</sup>, PENG Junge<sup>2</sup>, LI Yan<sup>3</sup>

(1.School of Physical Education, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2.School of Public Health, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 3.School of Physical Education, The Second Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** A cross-sectional survey was conducted from April to June 2024 on 1 406 college students aged 18 to 24 years in a university in Henan. 24-h movement behavior was investigated by the International Physical Activity Questionnaire and the Pittsburgh Sleep Index Scale, and the self-measurement health scale was used to assess the health level of college students, and the association between the 24-h movement behavior of college students and their self-measurement health was analyzed by using the methods of constituent data and isochronous substitution modeling, as well as the substitution. The association between 24-h movement behavior and self-measurement health and the substitution effect were analyzed using component data and isochronous substitution model. The results showed that: (1) there was a significant correlation between 24-hour movement behaviors and various factors, dimensions, and the total score of self-rated health among university students ( $P<0.001$ ). The proportions of

收稿日期: 2024-10-10

基金项目: 河南省哲学社会科学规划年度项目(2022BTY017); 河南省引进国外智力专项(HNGD2024001); 郑州大学研究生创新创业项目(20240343)。

作者简介: 李凯欣(2001-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 心身疾病与运动干预。E-mail: lkxin@gs.zzu.edu.cn 通信作者: 李晏

time spent in MVPA, Sleep, and LPA were significantly positively correlated with the total self-rated health score (MVPA:  $\beta=3.68$ ,  $P<0.05$ ; Sleep:  $\beta=1.95$ ,  $P<0.05$ ; LPA:  $\beta=1.45$ ,  $P=0.05$ ), while the proportion of time spent in sedentary behaviour was significantly negatively correlated with the total self-rated health score ( $\beta=-4.31$ ,  $P<0.05$ ). (2) The 15-min isochronous substitution model predicted changes showing that all college students' self-tested health scores increased significantly after MVPA replacement of other movement behaviors, and that MVPA replacement of sedentary behaviour had the best effect on increasing self-tested health scores. (3) In the dose-effect relationship from -40 min to 40 min, the adverse effects of MVPA replacement by other behaviors outweighed the benefits of MVPA replacement by other behaviors; furthermore, 5 min was the optimal turning point for changes in health benefits. The research suggests that the combined effects of 24-hour movement behaviors of college students deserve great attention, especially the negative impact of MVPA deficiency and sedentary time on the overall health of college students. Promoting the conversion of sedentary behavior to MVPA moderation can effectively improve the health of college students, and sleep may be another important direction for health intervention. In addition, the minimum recommended amount of MVPA of 45 min per day could yield the most efficient physical health gains.

**Keywords:** 24-hour movement behavior; compositional analysis; isochronous substitution model; self-measurement health; university students

随着疾病谱的变化以及生物医学模式逐渐向生理、心理与社会医学模式转型,人们对健康概念的理解也在不断加深<sup>[1]</sup>。世界卫生组织指出,健康不仅仅是指没有疾病的状态,更是身体、心理健康与社会适应能力的全面反映<sup>[2]</sup>。《“健康中国 2030”规划纲要》的发布,标志着提升我国国民健康水平、实现健康中国的目标已经成为国家发展战略的一部分。而大学生群体的健康状况,不仅影响到个人的成长和发展,还关系到国家的未来和整体潜力<sup>[3]</sup>。自测健康指标具有一定权威性和成熟性,在诸多领域得到广泛应用,可反映个体对自身健康状况的主观评价与期望<sup>[4-5]</sup>。通过自测健康能够发现大学生自身潜在危险因素并提出对策,进而推动健康关口前移。

现有研究表明,身体活动、长时间久坐和睡眠不规律等不良生活方式是影响大学生健康水平的关键因素<sup>[6-7]</sup>。然而,在传统流行病学研究中多是孤立地分析提高身体活动或降低久坐行为的效应,未充分考虑到不同活动行为间的相互作用,故所得结果可能具有误导性<sup>[8]</sup>。因此,有必要重新审视并转变当前的身体活动研究框架,采取一种综合性视角将一天内的各种活动视为一个整体进行考量,以更准确地评估其对健康的综合影响<sup>[9]</sup>。24 h 活动行为概念的提出,为全面评估身体活动、久坐行为及睡眠对健康的影响开辟新的路径<sup>[10]</sup>。此外,成分等时替代分析方法的引入,不仅能有效解决传统分析方法中存在的“定和约束”问题,还克服传统等时替代模型(isotemporal substitution model, ISM)中的伪相关性和多重共线性难题,使得对活动行为时间分配与健康结果之间关系的探讨更为合理与精确<sup>[11]</sup>。目前,国外仅 1 篇文献分析 24 h 活动行为与青少年自测

健康的关联,但该研究仍采用传统统计方法分析,所得结果和结论的解释均缺乏足够的科学性和严谨性<sup>[12]</sup>。国内已有学者尝试采用等时替代方法探讨 24 h 活动行为与大学生健康的综合关联,然而这些研究都集中在单一的健康指标上,例如体质健康<sup>[13]</sup>、抑郁<sup>[14]</sup>和焦虑水平<sup>[15]</sup>,鲜有学者关注 24 h 活动各行间等时替代对大学生整体健康的影响。

本研究作为目前国内首个探讨大学生中高强度体力活动(moderate to vigorous physical activity, MVPA)、低强度身体活动(light physical activity, LPA)、久坐行为、睡眠与自测健康关系的等时替代研究,聚焦大学生整体健康问题及其 3 个维度的变化,通过开展大样本研究工作深入探究大学生各活动行为间时间重新分配与其自测健康状况的“剂量-效应”关系,旨在为该群体找到最大化健康效益的时间分配方案提供科学依据。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

以河南省某高校在校大学生为研究对象,于 2024 年 4—6 月发放问卷 1 470 份,其中无效问卷 64 份,最后纳入有效问卷 1 406 份,有效率为 95.6%。对符合标准的受试者签署知情同意书。纳入标准包括:身体健康、无运动禁忌症、自愿参加本研究。排除标准包括:患有心脏病、呼吸系统、肝脏或肾及其他慢性疾病者,24 h 活动行为数据缺失者。本研究获得郑州大学伦理委员会批准(ZZUIRB2024-97)。

### 1.2 研究方法

1)人口学特征问卷调查。

调查内容包括年龄、性别、年级(本科生和研究生)、

是否独生子女、居住地(城镇、乡村)、父母文化程度(小学及以下、中学、大学、研究生及以上)、是否吸烟、是否饮酒和家庭经济收入(<3 000元、3 000~4 999元、5 000~9 999元、≥10 000元)等。

## 2)24 h 活动行为调查。

为了评估大学生的24 h活动行为,研究采用已被验证并广泛使用的国际体力活动问卷(international physical activity questionnaire, IPAQ)中文版以及匹兹堡睡眠质量指数(pittsburgh sleep quality index, PSQI)中文版<sup>[16-17]</sup>,具体调查指标包括LPA、MVPA、久坐行为以及睡眠时间。为了提高调查结果的准确性和可靠性,从完成问卷的学生中随机挑选90名参与者佩戴ActiGraph GT3X(加速度计)设备,以客观记录他们的身体活动水平。问卷与加速度计所测结果的MVPA和LPA百分比的Pearson相关系数分别为 $r=0.38$ ,  $r=0.49$ ,均达到中度相关且显示良好的有效性。

## 3)自测健康评定量表。

运用自测健康评定量表(self-rated health measurement scale, SRHMS)评估受试者的健康状态<sup>[18]</sup>。SRHMS基于WHO关于健康的三维定义,结合我国国情与文化特色设计,涵盖生理、心理与社会健康3个维度,共48项指标。生理维度健康得分170分,心理维度健康得分150分,社会维度健康得分120分,总分共计440分,最低皆为0分。得分越高,代表健康状况越佳。先前研究已证实其信度和效度<sup>[19]</sup>,可为评估大学生健康水平提供可靠工具。为便于计算与比较,将量表评分转换为百分制<sup>[4]</sup>。

$$\text{转化分} = \frac{\text{原始分} - \text{理论最低分}}{\text{理论最高分} - \text{理论最低分}} \times 100 \quad (1)$$

## 4)质量控制。

由经过测试培训的专业人员对受试者详细讲解网络问卷的操作方法以及注意事项,统一指导受试者填写问卷。本次问卷调查主要采用网络问卷方式收集,便于数据整理。当场测试完后由相应的专业人员进行核对与审查,无误后当场提交,测试时间为30 min。对所有问卷进行核对与审查,对漏项、规律作答等填写不合格者予以剔除,符合排除标准者予以排除。所有数据录入采用“双人双录入”方式,数据录入完毕后再三核对。

## 5)统计学处理。

本研究主要采用Dumuid等<sup>[20]</sup>提出的成分分析和等时替代理论方法,使用R4.2.3软件中的Composition包对数据进行处理与分析。具体步骤如下:

(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(时间数据)的几何不符<sup>[21]</sup>。因

此,本研究采用成分几何均值来显示数据的集中趋势,已被证明能更好地显示数据集的中心<sup>[22]</sup>。

(2)传统的标准差忽略成分数据存在的“定和限制与共线性”<sup>[9]</sup>,无法排除单个分量的变化(如身体活动时间的变化)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<sup>[23]</sup>。通过计算所有可能成对比率的方差的方差而得到,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,具体为:

$$E(Y|Z) = \beta_0 + \beta_1 Z_1 + \beta_2 Z_2 + \beta_3 Z_3 + \dots + \beta_{d-1} Z_{d-1} + \text{协变量}^{[24]} \quad (2)$$

$$Z_i = \frac{d-i}{\sqrt{d-i+1}} \ln \left( \frac{b_i}{\sqrt{\prod_{j=i+1}^d b_j}} \right)^{[24]} \quad (3)$$

其中 $\beta$ 为回归系数,表示各活动行为时间数据标准化后,睡眠、久坐行为、LPA、MVPA分别相较于其他3种行为与 $Y$ 的关联, $\beta_0$ 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, $Z=(Z_1, Z_2, \dots, Z_{d-1})$ 。

(4)在回归模型的基础上建立等时替代模型,公式如下:

$$\hat{y}_{(+15,-15,0,0)} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}^T \text{ilr} \left( \frac{1}{\text{SLP}_{+15}}, \frac{1}{\text{SB}_{-15}}, \frac{1}{\text{LPA}}, \frac{1}{\text{MVPA}} \right) + \varepsilon_i^{[11]} \quad (4)$$

根据以往研究发现,15 min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15 min为单位,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。此外,为探索不同活动时间长度替代对大学生自测健康的影响,进一步依据MVPA的算术平均值时长,以5 min为增量单位绘制显著替代差异变化趋势图,探讨二者之间的剂量-效应关系。

## 2 结果与分析

### 2.1 描述性分析

SRHMS测试结果显示,大学生健康总分为(66.98 ± 9.85)分。其中,大学生生理健康得分为(73.52 ± 13.71)分,心理健康得分为(58.06 ± 11.9)分,社会健康得分为(68.86 ± 16.93)分。由表1可知,算术平均值对成分数据中MVPA(3.50%)和LPA(9.94%)时间有一定程度高

估,对 SB(43.87%)和 SLP(42.69%)时间有一定程度低估。根据成分几何均值情况,数据分布情况符合成分数据的分析要求。

表 1 研究对象活动行为情况

变量	算数平均值 /min	百分比 /%	成分几何 均值/min	百分比 /%
SLP	614.76	42.69	624.71	43.38
SB	631.75	43.87	644.37	44.75
LPA	143.11	9.94	130.12	9.04
MVPA	50.37	3.50	40.80	2.83

依据变异矩阵可知,最高对数比方差都涉及 MVPA,其中与 LPA 的对数比方差最小,表明大学生花费在 MVPA 上时间可能更为稳定,不宜与其他行为发生转化;如果发生变化,相较而言与 LPA 时间发生

转换的概率最高。同时,久坐行为和睡眠对数比方差最接近于 0( $\ln$  睡眠/久坐行为=0.10),提示这两项活动转换的可能性最高。

## 2.2 大学生 24 h 活动行为与自测健康的关系

调整年龄、性别等协变量后,以 MVPA、LPA、久坐行为和睡眠作为自变量,分别以各因子、维度得分以及自测健康总分为因变量,使用成分分析方法探讨它们之间的关联。表 2 显示,24 h 活动行为与大学生自测健康各因子、维度及总分均显著相关( $P<0.001$ ),MVPA 和睡眠时间占比与大学生生理健康得分、心理健康得分、社会健康得分和自测总分呈显著正相关,LPA 与社会健康得分和自测总分呈显著正相关,久坐行为时间占比与大学生生理健康得分、心理健康得分、社会健康得分和自测总分呈显著负相关。

表 2 活动行为与自测健康的成分线性回归结果

指标	MVPA		LPA		睡眠		久坐行为		模型
	$\beta$	$P$	$\beta$	$P$	$\beta$	$P$	$\beta$	$P$	$P$
生理	3.34	0.01	0.38	0.62	2.43	0.01	-3.77	0.00	< 0.001
心理	3.26	0.01	0.19	0.73	2.47	0.01	-1.61	0.04	
社会	4.68	0.00	1.65	0.04	3.52	0.00	-5.90	0.00	
总分	3.68	0.01	1.45	0.05	1.95	0.01	-4.31	0.00	

## 2.3 24 h 活动行为时间等时替代后自测健康的预期变化

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、年龄等协变量后用 15 min MVPA 替代久坐行为、LPA 和睡眠,大学生自测健康总分分别显著增加 0.48、0.45、0.38 个单位,反之分别显著减少 0.54、0.51、0.44 个单位;15 min MVPA 替代久坐行为、LPA 和睡眠,生理健康得分分别显著增加 0.64、0.52、0.47 个单位,反之分别显著减少 0.70、0.59、0.53 个单位;15 min MVPA 替代久坐行为、LPA 和睡眠,心理健康得分分别显著增加 0.33、0.23、0.21 个单位,反之分别显著减少 0.37、0.27、0.25 个单位;15 min MVPA 替代久坐行为、LPA 和睡眠,社会健康得分分别显著增加 0.60、0.47、0.46 个单位,反之分别显著减少 0.68、0.55、0.53 个单位;15 min 睡眠替代久坐行为后,生理、心理、社会和健康总分分别显著增加 0.17、0.12、0.15、0.10 个单位,反之分别显著减少 0.15、0.12、0.16、0.11 个单位。

眠,心理健康得分分别显著增加 0.33、0.23、0.21 个单位,反之分别显著减少 0.37、0.27、0.25 个单位;15 min MVPA 替代久坐行为、LPA 和睡眠,社会健康得分分别显著增加 0.60、0.47、0.46 个单位,反之分别显著减少 0.68、0.55、0.53 个单位;15 min 睡眠替代久坐行为后,生理、心理、社会和健康总分分别显著增加 0.17、0.12、0.15、0.10 个单位,反之分别显著减少 0.15、0.12、0.16、0.11 个单位。

表 3 24 h 活动行为间 15 min 等时替代与自测健康预测值变化(95%CI)<sup>1)</sup>

参数	久坐行为↑ $\beta(95\%CI)$	LPA↑ $\beta(95\%CI)$	MVPA↑ $\beta(95\%CI)$	睡眠↑ $\beta(95\%CI)$
生理 久坐行为↓		0.12(-0.03~0.28)	0.64(0.44~0.84) <sup>2)</sup>	0.17(0.01~0.33) <sup>2)</sup>
LPA↓	-0.10(-0.25~0.04)		0.52(0.39~0.64) <sup>2)</sup>	0.05(-0.02~0.12)
MVPA↓	-0.70(-0.90~-0.49) <sup>2)</sup>	-0.59(-0.73~-0.45) <sup>2)</sup>		-0.54(-0.69~-0.40) <sup>2)</sup>
睡眠↓	-0.15(-0.29~-0.01) <sup>2)</sup>	-0.05(-0.12~0.03)	0.47(0.34~0.59) <sup>2)</sup>	
心理 久坐行为↓		0.10(-0.03~0.22)	0.33(0.22~0.44) <sup>2)</sup>	0.12(0.06~0.18) <sup>2)</sup>
LPA↓	-0.10(-0.24~0.04)		0.23(0.05~0.41) <sup>2)</sup>	0.02(-0.12~0.16)
MVPA↓	-0.37(-0.49~-0.24) <sup>2)</sup>	-0.27(-0.45~-0.09) <sup>2)</sup>		-0.25(-0.37~-0.12) <sup>2)</sup>
睡眠↓	-0.12(-0.18~-0.06) <sup>2)</sup>	-0.03(-0.15~0.10)	0.21(0.10~0.32) <sup>2)</sup>	
社会 久坐行为↓		0.14(-0.04~0.31)	0.60(0.45~0.76) <sup>2)</sup>	0.15(0.06~0.24) <sup>2)</sup>
LPA↓	-0.14(-0.33~0.06)		0.47(0.22~0.72) <sup>2)</sup>	0.01(-0.19~0.21)
MVPA↓	-0.68(-0.86~-0.50) <sup>2)</sup>	-0.55(-0.80~-0.29) <sup>2)</sup>		-0.53(-0.71~-0.36) <sup>2)</sup>
睡眠↓	-0.16(-0.26~-0.06) <sup>2)</sup>	-0.01(-0.19~0.16)	0.46(0.30~0.61) <sup>2)</sup>	
总分 久坐行为↓		0.03(-0.07~0.13)	0.48(0.39~0.57) <sup>2)</sup>	0.10(0.05~0.15) <sup>2)</sup>
LPA↓	-0.02(-0.13~0.09)		0.45(0.31~0.60) <sup>2)</sup>	0.08(-0.04~0.19)
MVPA↓	-0.54(-0.64~-0.44) <sup>2)</sup>	-0.51(-0.65~-0.37) <sup>2)</sup>		-0.44(-0.54~-0.34) <sup>2)</sup>
睡眠↓	-0.11(-0.15~-0.06) <sup>2)</sup>	-0.07(-0.17~0.03)	0.38(0.29~0.46) <sup>2)</sup>	

1)模型中调整了协变量年龄和性别等因素;↑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;2) $P<0.05$

## 2.4 24 h 活动行为时间重新分配与自测健康的“剂量-效应”关系

本研究中大学生 MVPA 的算术均值为 40.8 min, 故以 5 min 为增量绘制两两行为间等时替代从-40 至 40 min 对自测健康影响的变化趋势图, 以进一步揭示等时替代时间的变化对大学生自测健康得分影响的“剂量-效应”关系(见图 1)。研究主要发现: (1)随着 MVPA 替代久坐行为、LPA 和睡眠时间的增加, 大学生自测健康量表总分随之增加, 上升幅度由大到小依次为 MVPA 替代久坐行为、LPA 和睡眠。 (2)当替代时间为 0~40 min 时, 大学生自测健康得分分别上升 0.16~1.17、0.16~1.12、0.13~0.90 个单位; 当替代时间为 0~-40 min 时, 大学生自测健康得分分别下降 0.17~1.65、0.16~1.57、0.14~1.39 个单位。可见, MVPA

替代其他行为所导致的自测健康得分上升幅度明显小于其他活动行为等时替代 MVPA 所导致的自测健康得分下降幅度。结果表明, MVPA 与其他行为等时替代对大学生自测健康量表得分影响的“剂量-效应”关系具有不对称性, 而睡眠替代久坐行为及 LPA 后大学生自测健康得分会小幅增加, 并且与久坐行为替代睡眠以及 LPA 替代久坐行为所导致的自测健康得分下降幅度基本保持一致。(3)5 min 是健康效益变化的最佳转折点。当替代时长为 5 min 时, MVPA 替代久坐行为、LPA 和睡眠后自测健康得分快速上升, 但在随后的 10~40 min 内自测健康得分的升高速率逐渐放缓。结果表明, 在 MVPA 与其他行为相互替代的过程中, 5 min 是健康效益变化的最佳转折点。

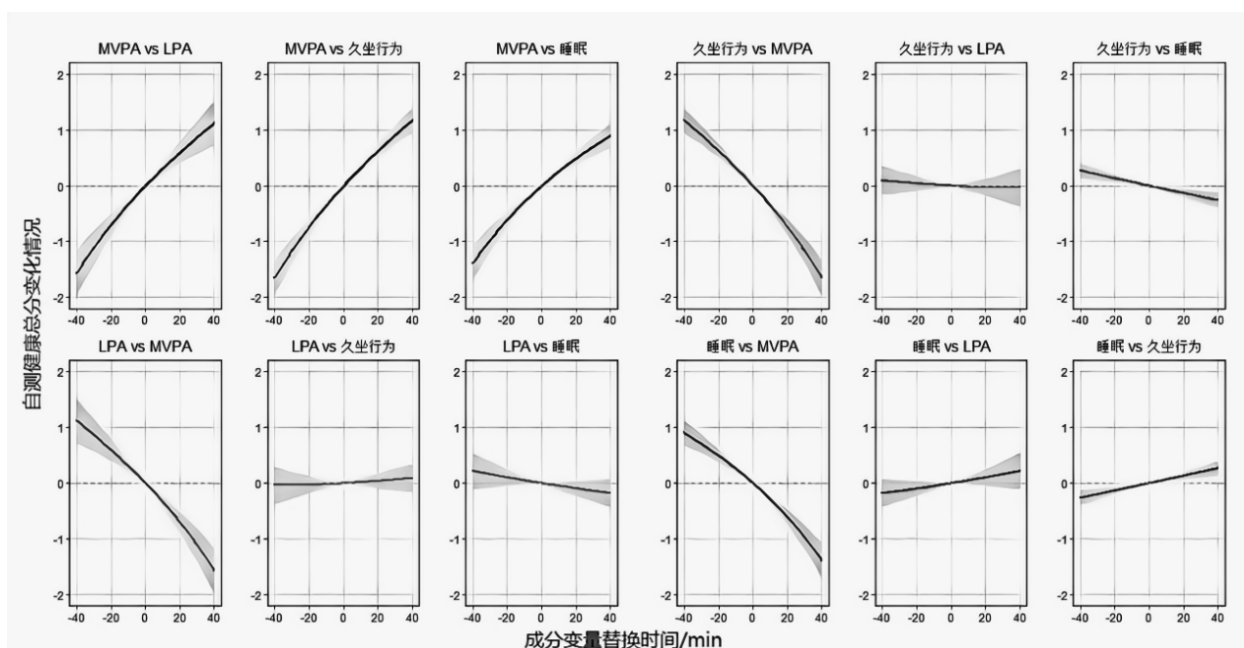


图1 等时替代行为对自测健康影响的变化

## 3 讨论

本研究突破传统研究孤立分析的局限, 首次在大中学生中采用成分等时替代法探讨 24 h 活动行为与自测健康之间的关系及替代效应, 主要有以下发现。

24 h 活动行为既相互依赖又相互影响。在校大学生 24 h 中 MVPA、LPA、久坐行为和睡眠时间占比分别为 40.80 min(2.83%)、130.12 min(9.04%)、644.37 min(44.75%)和 624.74 min(43.38%)。与以往研究相比, 研究对象表现出更长时间的久坐, 而 LPA 和 MVPA 时间则较短<sup>[25]</sup>。根据杨洪杰等<sup>[26]</sup>建立的大学生健康体力活动水平参考建议, 大学生每日静坐时间应当 $\leq 450$  min, 而本研究中大学生的每日久坐时间明显高于这一参考标准。此外, 本研究对象的 MVPA 仅有 40 min/d, 这

与最近一项流行病学调查显示的我国大学生每日体育锻炼时间不足 1 h 的结果相符<sup>[27]</sup>。以上结果证实, 目前大学生普遍存在长时间久坐和体育锻炼不足的现象。进一步的变异矩阵分析揭示不同活动行为之间存在显著的转换概率, 提醒研究者注意单一活动研究可能忽视的复杂相互作用。在 24 h 的活动时间内 MVPA 时间相对稳定, 被其他活动替代的可能性最低, 这可能与大学生的 MVPA 主要来源于教育环境和有限的闲暇活动有关。同时发现, MVPA 与久坐行为发生转换的可能性最低, 这可能与个人特定的文化观念及生活习惯难以改变有关。相比之下, 久坐行为和睡眠之间发生互换的可能性最高。究其原因, 可能是在校大学生因学业及科研压力导致久坐时间持续积累, 而在学习负

担减轻时倾向于增加睡眠以进行弥补<sup>[13]</sup>。

本研究运用成分数据等距对数比转换的方式综合探究 24 h 活动时间分布与自测健康的关系,发现 24 h 活动行为与大学生自测健康呈现正相关,表明将 24 h 活动行为作为整体来研究其对身心健康的综合效应具有科学性。其中, MVPA、睡眠与自测健康及各维度得分呈现出正相关性,与现有的研究结果一致<sup>[12,28]</sup>。久坐行为与自测健康及各维度得分呈现出负相关性,这与前人研究存在一定的分歧。Zhang 等<sup>[29]</sup>对儿童青少年的身体活动、久坐行为和自评健康进行 meta 分析,发现儿童青少年的久坐行为水平较高时他们的自测健康得分较低。然而, Schembri 等<sup>[30]</sup>和 Marques 等<sup>[31]</sup>认为,久坐行为与自测健康并没有直接联系,而是通过中介效应来介导。久坐行为时间的增加间接导致日常身体活动的减少,从而引发一系列不良后果。本研究与 Schembri 等研究结果一致,提示要有效提高大学生整体的健康水平,需增加 MVPA 与睡眠时间以减少久坐行为时间。

本研究还探讨 24 h 活动各行为的等时替代对大学生自测健康的影响。等时替代结果显示,每天 15 min 的 MVPA 替代同等时长的 LPA、久坐行为和睡眠均能提升大学生的自测健康及各维度得分,每天 15 min 的 LPA 替代相同时长的久坐行为也会显著提升大学生的自测健康水平。此研究表明,对于维持在校大学生整体健康水平, MVPA 和 LPA 都具有重要意义。通过比较重新分配后的健康得分变化,本研究发现将 MVPA 时间分配给 LPA、久坐行为和睡眠时,自测健康总分的变化最大,其得分分别提高 0.45、0.48 和 0.38,这些结果再次证明,增加 MVPA 时间可能是促进大学生健康发展的最佳方案。从生理机制的角度来看, MVPA 能够刺激肾上腺素、生长激素等脂解激素的分泌,加速脂肪组织氧化分解,改善体重状态,进而促进生理健康<sup>[32]</sup>。此外, MVPA 对心理健康有积极作用,能增加大脑中多巴胺、血清素和去甲肾上腺素的浓度,改善焦虑和抑郁症状<sup>[33-34]</sup>,对维持大学生的心理健康产生深远影响。同时,也有研究表明, MVPA 还能提高大学生人际交往能力和社会参与感,从而对社会健康产生正面影响<sup>[35]</sup>。相比之下,虽然 LPA 对大学生健康也有益,但其效果较 MVPA 有限,这可能是因为 LPA 通常处于个体能量代谢平衡的范围内,对生理和心理健康的改善较小<sup>[33,36]</sup>。值得注意的是,睡眠替代同等时长的久坐行为也可以提高在校大学生的自测健康水平。这提示,在将久坐行为时间转化为 MVPA 的同时睡眠可能是健康干预的又一重要方向。祝捷等<sup>[37]</sup>发现,遵守睡眠指南的人群健康水平相对更好。尤其是对于经历过

MVPA 的大学生来说,充足的睡眠有利于体力恢复,消除疲劳感,进而达到身体活动水平的促进<sup>[8]</sup>,而睡眠不足相应地会影响个体积极的生活方式,这可能是睡眠有利于健康发展的原因。不过值得注意的是,一项采用传统多元线性回归分析的研究发现,睡眠质量而非睡眠时长与自测健康具有显著相关性<sup>[38]</sup>。由于本研究并未考察其他睡眠参数对自测健康的影响,因此,睡眠对大学生自测健康的影响不能妄下定论,未来还需进行更多研究加以验证,以便更准确地评估睡眠对自测健康的影响。

本研究进一步探讨 MVPA 与其他行为(久坐行为、LPA 和睡眠)的剂量-效应关系,主要有以下发现:(1)MVPA 与其他活动行为重新分配对大学生健康影响具有不对称性,这一特征也存在于其他研究中<sup>[39-40]</sup>。究其原因,可能与各活动行为时间占比有关。如 15 min 占本研究 MVPA 的 36.8%,而 LPA、久坐行为和睡眠分别占其总时间的 11.5%、2.3%、2.4%,可见等时替代时间比值的巨大差异引起替代效应的不对等。而其他 3 种活动行为的时间重新分配对大学生自测健康的改变相似,这一结果再次验证维持 MVPA 对改善大学生健康的重要作用。鉴于 MVPA 和久坐行为的显著性替代效益,在校期间学校可通过在课间和公体课上提高学生的活动强度,以达到二者之间的转换,从而提高大学生的健康水平。如在实际操作中存在限制,可以退而求其次,尽量完成久坐行为与 LPA 之间的转换。如学校可通过减少放学后的久坐时间,鼓励大学生参与体育社团活动等。(2)本研究进一步确定 5 min 为 MVPA 替代效应的最佳转折点。当 MVPA 分别替代 LPA、久坐行为以及睡眠达到 5 min 时,自测健康得分的上升速率开始明显变缓。这一发现表明,在当前大学生平均每天 40.80 min 的 MVPA 基础上,额外增加 5 min 的 MVPA,即约 45 min/d 的 MPVA 对体质健康促进效果最佳。因此,在确定最适推荐量即每天 60 min MVPA 的同时,也应设定一个最低推荐量:每天转换 5 min 的其他行为为 MVPA,即每天 45 min 的 MVPA 活动时间。以此为阈值,可以有效提高大学生的健康水平,也能以较低标准激励那些运动不足的学生积极参与,并逐步增加至每天 60 min 的目标。

综上所述,本研究采用成分等时替代法探讨大学生群体中 24 h 活动行为与自测健康之间的关系及替代效应,对改善大学生整体健康提供科学依据。但由于本研究属于横断面研究,无法得出 24 h 活动行为对自测健康得分的因果关系。其次,本研究数据收集主要来源于问卷调查,因此结果可能存在一定偏差,未来可采用客观测量的方法进行研究。此外,本研究未考

察其他睡眠参数,且未对久坐行为根据类型进行细分,未来可以针对以上情况做出更加精准、全面的研究,以期改善大学生群体健康状况提供更为细致、科学的理论依据。

### 参考文献:

- [1] 李盛,唐佳蓉,郑艳妮,等. 兰州市医护人员自测健康状况及其影响因素[J]. 环境与职业医学, 2022, 39(7): 775-779.
- [2] BACHMANN W. Health and disease. Critical thoughts on the health concept of the World Health Organisation (WHO)(author's transl)[J]. MMW, Munchener medizinische Wochenschrift, 1977, 119(11): 349-352.
- [3] 陶芳标. 构建面向健康中国 2030 青少年健康促进体系[J]. 中国学校卫生, 2023, 44(1): 1-5.
- [4] 杨秀兰,邵明,贾伟华,等. 安徽省高校大学生自测健康状况调查与常模建构[J]. 中国健康教育, 2022, 38(2): 114-119.
- [5] 张倩雯,罗金萍,孙嘉颖,等. 基于健康生态学模型的潍坊市居民自测健康状况及影响因素研究[J]. 中国卫生事业管理, 2024, 41(3): 344-349.
- [6] LONATI E, CAZZANIGA E, ADORNI R, et al. Health-related lifestyles among university students: Focusing on eating habits and physical activity[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2024, 21(5): 626-641.
- [7] YU L, ZHAO X, LONG Q, et al. Association between a changeable lifestyle, sedentary behavior, and suicide risk: A systematic review and meta-analysis[J]. Journal of Affective Disorders, 2024, 350: 974-982.
- [8] 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), 2021, 46(8): 1-8.
- [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] OVIEDO - CARO MÁ, BUENO - ANTEQUERA J, MUNGUÍA - IZQUIERDO D. Associations of 24 - hours activity composition with adiposity and cardiorespiratory fitness: The pregnactive project[J]. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 2020, 30(2): 295-302.
- [11] 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.
- [12] SHI G, LIANG C, ZANG W, et al. 24-hour movement behaviours and self-rated health in Chinese adolescents: A questionnaire-based survey in eastern China[J]. PeerJ, 2023, 11: e16174.
- [13] 宋云峰,谭思洁,齐玉刚,等. 24 h 活动行为对大学生体质健康影响的等时替代效益[J]. 中国学校卫生, 2023, 44(9): 1382-1386.
- [14] 汤表倩,陈勃昊,李艺扬,等. 不同中高强度体力活动职校学生行为等时替代与抑郁的关联[J]. 中国学校卫生, 2023, 44(10): 1537-1541.
- [15] 谭健怡,黄宝莹,黄珍惠,等. 大学生日常行为活动对焦虑影响的成分等时替代模型研究[J]. 郑州大学学报(医学版), 2021, 56(2): 170-175.
- [16] 路桃影,李艳,夏萍,等. 匹兹堡睡眠质量指数的信度及效度分析[J]. 重庆医学, 2014, 43(3): 260-263.
- [17] 屈宁宁,李可基. 国际体力活动问卷中文版的信度和效度研究[J]. 中华流行病学杂志, 2004(3): 87-90.
- [18] 许军,谭剑,王以彭,等. 自测健康评定量表修订版(SRHMS V1.0)的考评[J]. 中国心理卫生杂志, 2003(5): 301-305.
- [19] 丰志强,尹文强,孙艳,等. 基于性别差异的高血压患者自测健康与 BMI 关系研究[J]. 中国卫生统计, 2022, 39(4): 509-512+517.
- [20] 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.
- [21] Modeling and Analysis of Compositional Data | Wiley[EB/OL]/Wiley.com. [2024-03-28]. <https://www.wiley.com/en-us/Modeling+and+Analysis+of+Compositional+Data-p-9781118443064>
- [22] GUPTA N, MATHIASSEN S E, 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]. The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 2018, 15(1): 53-67.
- [23] ŠTEFELOVÁ N, DYGRÝN J, HRON K, et al. Robust compositional analysis of physical activity and sedentary behaviour data[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2018, 15(10): 2248-2261.
- [24] 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.

[25] MURRAY R M, DORÉ I, SABISTON C M, et al. A time compositional analysis of the association between movement behaviors and indicators of mental health in young adults[J]. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2023, 33(12): 2598-2607.

[26] 杨洪杰, 刘善云. ROC 曲线法建立大学生健康体力活动水平参考标准[J]. *体育学刊*, 2022, 29(4): 138-144.

[27] 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.

[28] ROSEN P, HAGSTRÖMER M. Excellent self-rated health associated with activities of higher intensities: A compositional data analysis approach[J]. *Journal of Physical Activity & Health*, 2019, 16(11): 1007-1013.

[29] ZHANG T, LU G, WU X Y. Associations between physical activity, sedentary behaviour and self-rated health among the general population of children and adolescents: A systematic review and meta-analysis[J]. *BMC public health*, 2020, 20(1): 1343.

[30] SCHEMBRI E, HEINZ A, SAMUEL R. Associations between sedentary behavior and health and the moderating role of physical activity in young people within a cross-sectional investigation[J]. *Preventive Medicine Reports*, 2023, 35: 102316.

[31] MARQUES A, PERALTA M, SANTOS T, et al. Self-rated health and health-related quality of life are related with adolescents' healthy lifestyle[J]. *Public Health*, 2019, 170: 89-94.

[32] HAAPALA E A, VÄISTÖ J, IHALAINEN J K, et al. Associations of physical activity, sedentary time, and diet quality with biomarkers of inflammation in children[J].

*European Journal of Sport Science*, 2022, 22(6): 906-915.

[33] WANG S, LIANG W, SONG H, et al. Prospective association between 24-hour movement behaviors and mental health among overweight/obese college students: A compositional data analysis approach[J]. *Frontiers in Public Health*, 2023, 11: 1203840.

[34] MURRAY R M, DORÉ I, SABISTON C M, et al. A time compositional analysis of the association between movement behaviors and indicators of mental health in young adults[J]. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2023, 33(12): 2598-2607.

[35] WAHL-ALEXANDER Z, MOREHEAD C A. An observational assessment of physical activity levels and social behavior during residential summer camp unstructured time[J]. *American Journal of Health Promotion: AJHP*, 2020, 34(4): 387-392.

[36] 常振亚, 王树明, 张晓辉. 体力活动、静坐行为与学前儿童体质健康的关系[J]. *学前教育研究*, 2020(3): 42-56.

[37] 祝捷, 尚博睿, 周林, 等. 超重肥胖大学生 24 小时活动指南依从性及其心理健康问题研究[J]. *武汉体育学院学报*, 2024, 58(3): 73-80.

[38] LÜCKE A J, WRZUS C, GERSTORF D, et al. Bidirectional links of daily sleep quality and duration with pain and self-rated health in older adults' daily lives[J]. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 2023, 78(10): 1887-1896.

[39] 黄赞, 周玉兰, 贺佳贝, 等. 24h 活动行为与大学生体质健康关系的成分分析[J]. *中国学校卫生*, 2023, 44(10): 1550-1554+1559.

[40] 刘佳佳, 周饶, 李易燕, 等. 大学生 24 h 活动行为和心肺适能关系的成分数据分析[J]. *首都体育学院学报*, 2024, 36(2): 198-206.