

24小时活动行为对大学生疲劳的影响 ——基于成分等时替代模型

张浩帆¹, 王玉秀^{2*}

¹浙江工业大学教育学院, 浙江 杭州

²浙江工业大学体育军训部, 浙江 杭州

收稿日期: 2025年2月21日; 录用日期: 2025年3月26日; 发布日期: 2025年4月10日

摘要

目的: 基于成分等时替代模型探讨大学生24 h活动行为与疲劳的关系及替代效应, 为缓解大学生疲劳提供建议。方法: 于2023年11~12月采取随机抽样方法, 对浙江省某高校630名大学生进行24 h活动行为调查与疲劳状况调查, 调查内容为久坐(SB)时间、睡眠(SLP)时间、低强度身体活动(LPA)时间、中高强度身体活动(MVPA)时间; 采用成分等时替代方法, 探究24 h活动行为与疲劳的量效关系。结果: (1) SB与疲劳各维度及总分均呈正相关关系($\beta = 0.25\sim 1.77$); SLP与躯体疲劳、活动减少、动机降低维度及总分呈正相关关系($\beta = 0.25\sim 1.38$); LPA仅与动机降低维度呈负相关关系($\beta = -0.10$); MVPA与一般疲劳、躯体疲劳、活动减少、动机降低维度及总分呈负相关关系($\beta = -1.04\sim -0.13$)。 (2) 15 min等时替代模型预测变化显示, MVPA代替SB、SLP后大学生疲劳总分显著降低, 且MVPA代替SB对降低大学生疲劳总分的积极效应最佳。(3) 在从-20 min到20 min的剂量-效应关系中, MVPA代替SB、SLP产生的积极影响小于SB、SLP代替MVPA产生的消极影响。结果: MVPA对大学生疲劳具有积极正向的影响效应。在改善大学生疲劳状况时, 尽可能提高MVPA时间减少SB时间可能是有效方法之一。

关键词

24小时活动行为, 疲劳, 成分等时替代

The Influence of 24-Hour Activity Behavior on College Students' Fatigue —Based on the Compositional Isotemporal Substitution Model

Haofan Zhang¹, Yuxiu Wang^{2*}

¹College of Education, Zhejiang University of Technology, Hangzhou Zhejiang

²Department of P.E. Education & Military, Zhejiang University of Technology, Hangzhou Zhejiang

*通讯作者。

Received: Feb. 21st, 2025; accepted: Mar. 26th, 2025; published: Apr. 10th, 2025

Abstract

Objective: Based on the compositional isotemporal substitution model, this study aimed to explore the relationship and substitution effects between 24-hour activity behaviors and fatigue among college students, and to provide suggestions for alleviating college students' fatigue problems. **Methods:** From November to December 2023, a random sampling method was adopted to conduct a 24-hour activity behavior survey and a fatigue status survey on 630 college students from a university in Zhejiang Province. The survey covered the time spent on sedentary behavior (SB), sleep (SLP), low-intensity physical activity (LPA), and moderate-to-vigorous physical activity (MVPA). The isotemporal substitution method of components was used to explore the dose-response relationship between 24-hour activity behaviors and fatigue. **Results:** (1) SB was positively correlated with all dimensions and the total score of fatigue ($\beta = 0.25\sim1.77$). SLP was positively correlated with the dimensions of physical fatigue, reduced activity, reduced motivation, and the total score ($\beta = 0.25\sim1.38$). LPA was only negatively correlated with the dimension of reduced motivation ($\beta = -0.10$). MVPA was negatively correlated with the dimensions of general fatigue, physical fatigue, reduced activity, reduced motivation, and the total score ($\beta = -1.04\sim-0.13$). (2) The predicted changes in the 15-minute isotemporal substitution model showed that after MVPA replaced SB or SLP, the total fatigue score of college students decreased significantly, and replacing SB with MVPA had the best positive effect on reducing the total fatigue score of college students. (3) In the dose-response relationship from -20 minutes to 20 minutes, the positive impact of replacing SB or SLP with MVPA was less than the negative impact of replacing MVPA with SB or SLP. **Conclusion:** MVPA has a positive and beneficial effect on college students' fatigue. To improve the fatigue status of college students, increasing the time of MVPA and reducing the time of SB as much as possible may be one of the effective methods.

Keywords

24-Hour Activity Behavior, Fatigue, The Compositional Isotemporal Substitution

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

最近几十年以来，人们报告了越来越多的疲劳及相关问题。疲劳是一种正常的心理生理状况，其特征表现为个体因执行某项任务活动从而出现或感知到运动和认知表现下降(Behrens et al., 2022)。一般来说，那些工作压力大、工作时间长的群体更容易报告疲劳(Tang et al., 2019; Meng et al., 2015)。近些年的研究表明，学生同样可能是容易被疲劳困扰的群体之一(Chen & Qin, 2023)。然而，尽管长期处于疲劳状态会对学生学业成绩(Chen & Qin, 2023)、心理健康(Liu et al., 2021)以及问题行为(Gu et al., 2024)等造成不利影响，但相对于其他群体，他们受到的关注却相对较少，这是值得警惕的。必须探讨学生疲劳的关键可改变因素，实施合适的干预措施以缓解学生群体疲劳问题，例如定期进行体育锻炼、增加睡眠以及减少久坐时间。考虑到上述行为均属 24 小时范畴内，因此调查大学生群体 24 小时活动行为与疲劳的关系是必要的。

身体活动(Physical Activity, PA)、睡眠(Sleep, SLP)、久坐行为(Sedentary Behavior, SB)已被确认为疲劳的独立影响因素。许多研究表明一定量的身体活动以及充足的睡眠可以帮助减少疲劳的发生(Wensink et al., 2022; Harris et al., 2021; De-Mateo-Silleras et al., 2019; Puetz et al., 2008), 而过多的久坐行为却会增加疲劳的风险(Engberg et al., 2017)。然而值得注意的是, 在探讨三种行为与疲劳的关系时, 研究者们更多集中于单一的独立效应, 却忽视了它们之间可能存在的共变关系。考虑到身体活动、睡眠、久坐行为共同组成了人的一天 24 小时, 而一天的时间是有限的, 一种行为时间的增加或减少必然会导致其余行为的增加或减少(Dumuid et al., 2018), 单独考虑身体活动、久坐行为和睡眠时间是有所偏颇的, 应该综合考虑三种行为的健康效应, 基于 24 h 活动行为的视角进行研究。目前, 已经有不少研究使用成分等时替代探究 24 h 活动行为的健康效应(刘曙光等, 2024; 梁果等, 2022), 但据我们所知, 目前尚未有研究使用成分等时替代来探究 24 h 活动行为与疲劳的关系。因此, 本研究基于成分等式替代探究 24 小时活动行为与大学生疲劳的关系及各行为活动相互替代对疲劳的影响, 同时拟解决以下 3 个问题: 一是采用成分数据分析大学生 24 小时活动行为时间分布相对状况以及 24 小时活动行为与大学生疲劳的关系; 二是采用成分等时替代分析各活动行为相互替代对大学生疲劳的影响; 三是各活动行为间不同时长的等时替代对大学生疲劳影响的“剂量 - 效应”关系。

2. 研究对象与方法

2.1. 研究对象

以浙江省某高校在校大学生为研究对象, 于 2023 年 11 月~12 月发放问卷 641 份, 其中无效问卷 11 份, 最后纳入有效问卷 630 份, 有效率 98.3%。在填写调查问卷之前, 需要研究参与者授权知情同意权, 只有那些提供知情同意的人才有资格参与。

2.2. 研究方法

2.2.1. 24 小时活动行为

使用中国大学生 24 小时活动行为问卷(24-hour movement behaviors questionnaire, 24HMBQ)用于 24 小时活动行为评估。为了研究中国大学生 24 小时活动行为及其与健康指标之间的关联, Zheng 等(2023)编制了专门针对中国大学生的问卷, 这是首个评估中国大学生 24 小时活动行为的自我报告工具。具体而言, 24HMBQ 由 33 个项目组成, 分为 3 个部分, 分别评估了个体的睡眠、久坐行为和身体活动的相关信息。其中身体活动部分分别测量了低强度身体活动(Light Physical Activity, LPA)和中高强度身体活动(Moderate to Vigorous Physical Activity, MVPA)。经检验, 问卷内容效度为 0.97, 所有项目的重测信度为 0.69~0.97。

2.2.2. 疲劳

使用中文版多维疲劳量表(MFI-20)用于疲劳评估。MFI-20 由五个关于疲劳的子量表组成: 一般疲劳(General Fatigue, GF)、身体疲劳(Physical Fatigue, PF)、精神疲劳(Mental Fatigue, MF)、动机降低(Reduced Motivation, RM)和活动减少(Reduced Activity, RA) (Smets et al., 1995)。问卷共 20 道题目, 参与者按照 Likert5 点评分来填写其与陈述的符合程度, 每个分量表分数的范围从 4~20 分, 分数越高则表明该个体的疲劳程度越高。在本研究中, MFI-20 量表 Cronbach's α 为 0.658。

2.2.3. 协变量

协变量包括性别、年级(大一、大二、大三)、专业(理科、文科)、BMI。体重与身高被用于测量身体质量(Body Mass Index, BMI)指数, BMI 指数计算公式 $BMI = \text{体重(kg)} / \text{身高}^2 (\text{m}^2)$ 。在统计模型当中, 上述的变量被视为协变量。

2.3. 数据处理

研究选择成分数据分析法作为主要统计方法, 遵循 Dumuid 等(2018)提出的 24 h 活动行为成分数据分析指南, 在 R 统计软件(Version 4.2.3)中进行分析。具体内容包括: (1) 描述性统计分析。计算时间变量的成分几何均值反映 24 h 活动行为时间分布趋势, 使用变异矩阵描述成分数据的离散程度。(2) 成分数据多元回归分析。通过等距对数比转换(Isometric log-ratio, ilr)方法消除数据多重共线性问题, 在调整性别、年纪、专业、BMI 协变量后, 构建成分线性回归模型。(3) 成分等时替代方法。探究不同行为间等量时间相互替代对疲劳的影响。(4) 以 5 min 为增量单位绘制两两行为间相互替代对疲劳影响差异变化趋势图, 展示不同活动行为等时替代后大学生疲劳的预期变化。

3. 结果

3.1. 描述性统计分析

数据分析结果显示, 大学生 MFI-20 疲劳量表总分均值为(46.46 ± 11.46)分。其中, 一般疲劳得分为(10.12 ± 3.02)分、躯体疲劳得分为(9.69 ± 3.01)分、精神疲劳得分为(9.10 ± 3.02)分、活动减少得分为(9.31 ± 2.71)分、动机降低得分为(8.25 ± 2.47)分。

采用算数均值和成分几何均值描述 SB、SLP、LPA、MVPA 行为时间占比。由表 1 可知, 大学生日均 SB、SLP、LPA、MVPA 算数均值时间分别为 792.6 min、504.4 min、65.0 min、79.0 min, 大学生日均 SB、SLP、LPA、MVPA 算数均值占比分别为 55.0%、35.0%、4.5%、5.5%。大学生日均 SB、SLP、LPA、MVPA 成分几何均值时间分别为 818.0 min、563.0 min、21.6 min、37.4 min, 大学生日均 SB、SLP、LPA、MVPA 成分几何均值占比分别为 56.8%、39.1%、1.5%、2.6%。可以发现, 算数均值对时间成分数中的 LPA (1.5%)与 MVPA (2.6%)有一定程度高估, 对 SB (56.8%)和 SLP (39.1%)时间有一定程度低估。

Table 1. Activity behavior status of the research subjects

表 1. 研究对象活动行为情况

类别	SB	SLP	LPA	MVPA
算数均值/min	792.6	504.4	65.0	79.0
算数均值百分比/%	55.0	35.0	4.5	5.5
成分均值/min	818.0	563.0	21.6	37.4
成分均值百分比/%	56.8	39.1	1.5	2.6

Table 2. Variation matrix for the 24 h activity behavior

表 2. 24 h 活动行为时间使用变异矩阵

活动行为	SB	SLP	LPA	MVPA
SB	0	0.267	0.447	0.407
SLP	0.267	0	0.291	0.209
LPA	0.447	0.288	0	0.735
MVPA	0.407	0.209	0.735	0

3.2. 24 h 活动行为变异矩阵

根据 24 h 活动行为成分变异矩阵, 矩阵中接近 0 的 2 种行为所花费的时间呈高度比例。由表 2 可知, In(MVPA/SLP)的方差(0.209)为最低对数比, 这表明 MVPA 与 SLP 的相互依赖性最强, MVPA 与 SLP 两

种行为之间最有可能发生相互转换。而 LPA 与其他活动行为的对数比方差均较大, 说明 LPA 与 SB、SLP 以及 MVPA 的相互依赖性最弱, 与其他行为之间最不易发生转换, 即大学生花费在 LPA 上的时间最为稳定。

3.3. 24 h 活动行为与疲劳的成分线性回归分析

调整性别、年纪、专业和 BMI 协变量后, 以经过 ilr 转换后的 SB、SLP、LPA、MVPA 时间为自变量, 以一般疲劳、躯体疲劳、精神疲劳、活动减少、动机降低以及疲劳总分为因变量进行成分线性回归分析, 探究 24 h 活动行为时间分布与疲劳各维度及总分之间的关系, 具体结果见表 3。结果显示, 24 h 活动行为与疲劳各维度及疲劳总分均显著相关($P < 0.001$), 其中 SB 时间占比与疲劳各维度得分及疲劳总分均呈显著正相关, SLP 时间占比与躯体疲劳、活动减少、动机降低维度得分及疲劳总分呈显著正相关, LPA 时间占比仅与动机降低得分呈显著负相关, MVPA 时间占比与一般疲劳、躯体疲劳、活动减少、动机降低维度得分及疲劳总分呈显著负相关。

Table 3. Results of component linear regression between 24 hour activity behaviors and fatigue

表 3. 24 h 活动行为与疲劳的成分线性回归结果

类别	SB			SLP			LPA			MVPA			模型 P (R^2)
	$\beta^{(1)}$	95% CI	P	$\beta^{(2)}$	95% CI	P	$\beta^{(3)}$	95% CI	P	$\beta^{(4)}$	95% CI	P	
一般	0.47	0.21, 0.74	0.00	0.20	-0.07, 0.47	0.14	0.07	-0.05, 0.18	0.25	-0.29	-0.44, -0.15	0.00	<0.001 (0.07)
躯体	0.42	0.16, 0.68	0.00	0.27	0.00, 0.54	0.05	0.04	-0.07, 0.15	0.47	-0.30	-0.45, -0.16	0.00	<0.001 (0.07)
精神	0.27	0.01, 0.55	0.04	0.20	-0.07, 0.48	0.14	-0.09	-0.21, 0.02	0.12	-0.10	-0.24, 0.05	0.20	<0.001 (0.03)
活动	0.25	0.00, 0.49	0.05	0.25	0.00, 0.49	0.05	-0.03	-0.13, 0.07	0.58	-0.13	-0.26, 0.00	0.05	<0.001 (0.02)
动机	0.36	0.14, 0.58	0.00	0.46	0.24, 0.68	0.00	-0.10	-0.19, 0.00	0.04	-0.22	-0.36, -0.10	0.00	<0.001 (0.03)
总分	1.77	0.77, 2.78	0.00	1.38	0.36, 2.40	0.01	-0.11	-0.54, 0.32	0.62	-1.04	-1.58, -0.50	0.00	<0.001 (0.06)

注: 所有结果都调整了协变量; 粗体字体表示具有统计学显著意义($P < 0.05$)。

3.4. 24 h 活动行为 15 min 等时替代后疲劳的预测值变化

调整性别、年纪、专业和 BMI 后, 根据各活动行为间 15 min 等时替代预测变化结果发现(见表 4), 用 15 min MVPA 替代 SB、SLP, 疲劳总分分别显著降低 0.35、0.27 个单位, 反之分别显著增加 0.51、0.43 个单位; 15 min MVPA 替代 SB、SLP、LPA, 一般疲劳得分分别显著降低 0.11、0.06、0.14 个单位, 反之分别显著增加 0.16、0.11、0.16 个单位; 15 min MVPA 替代 SB、SLP, 躯体疲劳得分分别显著降低 0.10、0.08 个单位, 反之分别显著增加 0.15、0.12 个单位; 15 min MVPA 替代 SB、SLP, 活动减少得分均显著降低 0.04 个单位, 反之均显著增加 0.06 个单位; 15 min MVPA 替代 SB、SLP, 动机降低得分分别显著降低 0.06、0.07 个单位, 反之分别显著提升 0.09、0.10 个单位。

Table 4. The impact of 15 minute isotemporal substitution of 24 hour activity behaviors on the predicted values of fatigue (95% CI)

表 4. 24 h 活动行为 15 min 等时替代对疲劳预测值的影响(95% CI)

替代行为	被替代行为	一般疲劳	躯体疲劳	精神疲劳	活动减少	动机降低	疲劳总分
		β (95% CI)	β (95% CI)	β (95% CI)	β (95% CI)	β (95% CI)	β (95% CI)
SB	SLP	0.05 (0.02, 0.07)	0.03 (0.01, 0.05)	0.01 (-0.01, 0.04)	0.00 (-0.02, 0.02)	-0.01 (-0.03, 0.01)	0.08 (-0.01, 0.17)
SB	LPA	-0.03 (-0.14, 0.08)	-0.02 (-0.13, 0.09)	0.10 (-0.01, 0.22)	0.03 (-0.07, 0.14)	0.09 (0.00, 0.18)	0.18 (-0.25, 0.61)

续表

SB	MVPA	0.16 (0.10, 0.22)	0.15 (0.09, 0.21)	0.05 (-0.01, 0.11)	0.06 (0.00, 0.12)	0.09 (0.04, 0.14)	0.51 (0.27, 0.75)
SLP	SB	-0.05 (-0.07, -0.02)	-0.03 (-0.05, -0.01)	-0.01 (-0.04, 0.01)	0.00 (-0.02, 0.02)	0.01 (-0.01, 0.03)	-0.08 (-0.17, 0.01)
SLP	LPA	-0.08 (-0.19, 0.04)	-0.05 (-0.16, 0.07)	0.09 (-0.03, 0.21)	0.03 (-0.07, 0.14)	0.10 (0.01, 0.20)	0.10 (-0.33, 0.54)
SLP	MVPA	0.11 (0.05, 0.08)	0.12 (0.06, 0.19)	0.04 (-0.03, 0.10)	0.06 (0.00, 0.12)	0.10 (0.05, 0.16)	0.43 (0.18, 0.68)
LPA	SB	0.00 (-0.05, 0.05)	0.00 (-0.05, 0.05)	-0.05 (-0.10, 0.00)	-0.02 (-0.06, 0.03)	-0.04 (-0.08, 0.00)	-0.10 (-0.30, 0.09)
LPA	SLP	0.05 (0.00, 0.10)	0.03 (-0.02, 0.08)	-0.04 (-0.09, 0.02)	-0.02 (-0.06, 0.03)	-0.05 (-0.10, -0.01)	-0.03 (-0.23, 0.18)
LPA	MVPA	0.16 (0.07, 0.25)	0.15 (0.06, 0.25)	0.00 (-0.10, 0.10)	0.04 (-0.04, 0.13)	0.05 (-0.03, 0.13)	0.40 (0.05, 0.76)
MVPA	SB	-0.11 (-0.15, -0.07)	-0.10 (-0.15, -0.06)	-0.04 (-0.08, 0.01)	-0.04 (-0.08, 0.00)	-0.06 (-0.09, -0.02)	-0.35 (-0.51, -0.19)
MVPA	SLP	-0.06 (-0.11, -0.02)	-0.08 (-0.12, -0.03)	-0.02 (-0.07, 0.02)	-0.04 (-0.08, 0.00)	-0.07 (-0.11, -0.03)	-0.27 (-0.44, -0.10)
MVPA	LPA	-0.14 (-0.27, -0.01)	-0.12 (-0.26, 0.01)	0.07 (-0.07, 0.20)	-0.01 (-0.13, 0.12)	0.03 (-0.08, 0.14)	-0.17 (-0.68, 0.34)

注: 所有结果都调整了协变量; 粗体字体表示具有统计学显著意义($P < 0.05$)。

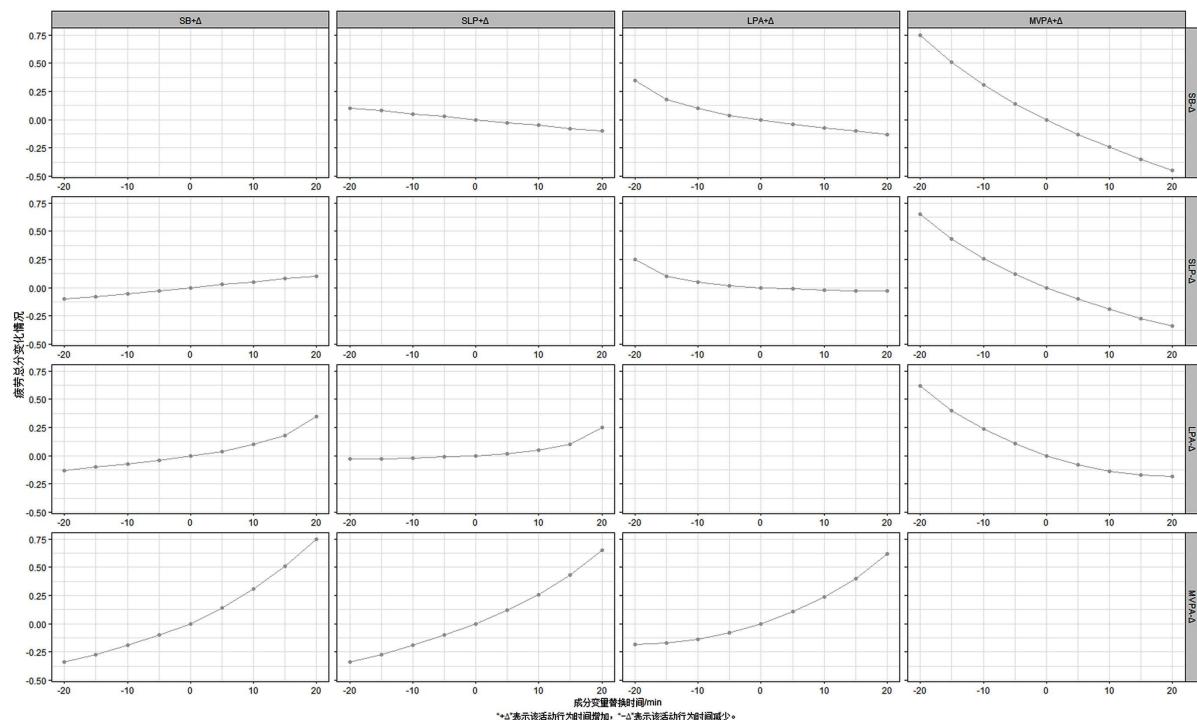


Figure 1. The change trend diagram of the impact of the compositional isotemporal substitution on fatigue
图 1. 成分等时替代对疲劳影响的变化趋势图

3.5. 24 h 活动行为时间重新分配与疲劳的“剂量 - 效应”关系

鉴于研究数据的 LPA 成分均值为 21.6 min 且为最低成分均值, 故本文以 5 min 为增量绘制两两行为间在-20 min~20 min 区间内等时替代对疲劳总分影响的变化趋势图, 以进一步揭示等时替代时间变化对大学生疲劳影响的“剂量 - 效应”关系(见图 1)。图 1 结果显示: (1) 当等量时间 MVPA 代替 SB、SLP、LPA 时, 疲劳总分随之降低, 而当等量时间 SB、SLP、LPA 代替 MVPA 时, 疲劳总分随之上升。随着 MVPA 替代 SB、SLP、LPA 时间的增加, 疲劳总分会逐渐降低, 降低幅度由大到小依次为 SB、SLP、LPA, 反之疲劳总分会逐渐上升, 上升幅度由大到小也依次为 SB、SLP、LPA。(2) 针对显著替代路径

(MVPA 与 SB、SLP)进行进一步分析, 可以发现等量时间 MVPA 替代 SB、SLP 对疲劳总分的积极影响小于反向替代的消极影响, 出现替代不对称现象。(3) 随着替代时长的增加, MVPA 替代 SB、SLP 所产生的积极影响逐渐削弱, 而 SB、SLP 替代 MVPA 所产生的消极影响逐渐增强。图 1 的结果表明, MVPA 与 SB、SLP 的等时替代对疲劳总分影响显著, 并出现“剂量 - 效应”关系。而其他活动行为之间的相互替代对疲劳总分并未有显著影响。

4. 讨论

本研究突破传统研究孤立分析的局面, 首次在大学生群体中采用成分等时替代方法探究 24 小时活动行为与疲劳的关系及替代效应, 主要有以下发现。

24 h 活动行为之间既相互依赖又相互影响。在本研究中, 在校大学生 24 h 中 SB、SLP、LPA 以及 MVPA 时间占比分别为 818.0 min (56.8%)、563 min (39.1%)、21.6 min (1.5%)、37.4 min (2.6%)。与过往探究大学生 24 h 活动行为的研究类似(刘佳佳等, 2024), 被试同样表现出较多的 SB 以及较少的 LPA、MVPA 行为, 总体呈现出“少动多坐”的行为模式, 较为符合目前大学生群体中普遍存在的久坐时间过长以及身体互动不足的现状。进一步的成分变异矩阵结果则揭示了不同活动行为可能存在的转换概率, 在本研究当中, MVPA 与 SLP 最易发生转换, 这可能是因为大学生课业繁忙、学业任务重, SB 与 LPA 时间较为稳定, 因此只能在有限的休闲时间中有意识减少 MVPA 时间来增加 SLP 时间以减轻压力。LPA 这一活动行为的时间较为稳定并不易与其他行为发生转换, 这可能是因为 LPA 作为大学生群体中最为常见的活动行为, 例如走路便属于 LPA 的范畴, 对于那些不喜欢 MVPA 的大学生来说, LPA 通常不需要计划或投入大量时间, 相对容易进行, 因此这种活动最不易与其他行为进行替换。

在进一步研究当中, 本研究运用成分线性回归分析综合探究 24 h 活动行为与疲劳的关系, 发现 24 h 活动行为与疲劳各维度及总分之间均显著相关, 表明将 24 h 活动行为视为整体来研究其与疲劳之间的综合关系具有科学性。其中, MVPA 与除精神疲劳外的疲劳各维度及疲劳总分呈显著负相关, SB 与疲劳各维度及疲劳总分呈显著正相关, 这与现有研究结果及预期一致(Wensink et al., 2022)。而 SLP 与躯体疲劳、活动减少、动机降低维度以及疲劳总分正相关, 这与现有研究结果及预期有所区别。此外, 除动机降低维度之外, LPA 并未与其他疲劳维度及疲劳总分显著相关, 这同样与前人的研究结果存在一定分歧。在本研究中, LPA 并未发现与疲劳之间的显著相关性的原因可能是因为群体的差异, 相较于中老年群体, 大学生往往具有更强的活动和能量感, 因此每日活动时间较少的 LPA 很难影响到其疲劳得分。

同时, 本研究还探讨 24 h 活动行为 15 min 等时替代对疲劳的影响。成分等时替代的结果显示, 15 min MVPA 替代 SB、SLP 能显著降低大学生疲劳总分, 其总分分别降低 0.35、0.27 个单位, 用 15 min SB、SLP 替代 MVPA 则会使大学生疲劳总分显著上升, 其总分分别上升 0.51、0.43 个单位。这一研究结果表明, 用 MVPA 时间替代 SB、SLP 是降低大学生疲劳总分的有效方式。考虑到我国大学生普遍存在睡眠不足的问题, 因此, 用等量时间 MVPA 替代 SB 是更好的降低大学生疲劳的方式。高校可通过减少文化课程时间、增加体育课程占比, 鼓励体育锻炼等方式, 以实现 MVPA 与 SB 之间的转换。

针对具有显著性替代效应的 24 h 活动行为(MVPA 与 SB、SLP)对疲劳总分的影响进行进一步“剂量 - 效应”分析, 主要有以下发现: (1) 等量时间 MVPA 替代 SB、SLP 对疲劳总分的积极影响小于反向替代的消极影响, 出现替代不对称现象。以本研究疲劳总分为例, 当 15 min MVPA 替代 SB、SLP 时, 大学生疲劳总分分别降低 0.35、0.27 个单位, 而当 15 min SB、SLP 替代 MVPA 时, 大学生疲劳总分分别上升 0.51、0.43 个单位, 出现了替代时积极与消极影响不对称的现象。究其原因, 这种不对称现象可能与替代时间占不同活动行为时间的比例不一致有关。一般情况下, MVPA 时间要比 SB、SLP 时间要少得多, 因此尽管替代时间是一致的, 但对于不同活动行为来说, 其占时间的比例却并不一致, 在一时间的

重新分配都会造成活动行为占比之间巨大差异。例如, 在本研究当中, 15 min 替代时长是大学生 MVPA 时间的 40.0%, 如此大比例的时间被重新分配至其他行为必然会引起较大的替代效应, 而对于 SB、SLP 来讲, 15 min 仅仅占其时间的 1.8%、2.7%, 这对于它们来说仅仅是一个较小的调整, 不足以引起较大的替代效应, 由此造成了等时替代效应的不对称性。(2) 观察替代曲线, 可以发现在 0~20 min 的替代时间内, 当 MVPA 替代 SB、SLP 时, 随着替代时长的增加, 疲劳总分逐渐下降, 然而, 这种疲劳总分下降的趋势在逐渐减弱, 相反地, 当 SB、SLP 替代 MVPA 时, 随着替代时长的增加, 疲劳总分逐渐上升并且这种疲劳总分上升的趋势在逐渐增强。这一现象在其他成分等时替代的相关研究当中也同样有所发现(李凯欣等, 2025)。因此, 为减少疲劳, 大学生在日常活动当中应当尽可能增加 MVPA 时间, 如果增加 MVPA 时间存在一定难度, 那么至少应当保持现有 MVPA 水平以避免过度疲劳。

5. 研究不足及展望

本研究在整体视角下探讨了大学生 24 h 活动行为相关状况及与疲劳的关系, 并基于成分等时替代分析方法分析各活动行为相互替代对大学生疲劳的影响, 并进一步进行了剂量 - 效应关系分析, 预测了不同活动行为之间相互替代对疲劳的关系。但是, 本研究依然存在一些不足: (1) 在本研究当中, 活动数据是通过问卷获得的, 因此可能会存在一定程度的偏倚。在未来的研究中, 可以考虑选取使用加速度计对大学生的活动行为进行调查。(2) 本研究仅仅调查了某所高校的大学生的 24 h 活动行为, 因此可能会对样本的代表性造成一定影响。在未来的研究当中, 可以考虑对更多、更具代表性的群体进行调查。

基金项目

2024 年教育部人文社会科学研究项目: 青少年体质健康多元治理经验的数字化提炼模式及创新应用研究(24YJA890036)。

参考文献

- 刘佳佳, 周傥, 李易燕, 等(2024). 大学生 24 h 活动行为和心肺适能关系的成分数据分析. *首都体育学院学报*, 36(2), 198-206.
- 刘曙亮, 周玉兰, 楼佳颖, 等(2024). 基于成分数据分析的留守儿童 24 h 活动时间分布与情绪及行为问题的关系. *浙江师范大学学报(自然科学版)*, 47(4), 465-471.
- 梁果, 王丽娟, 陈欢, 林浩, 陈元(2022). 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. *体育科学*, 42(3), 77-84.
- 李凯欣, 赵越, 肖峰, 等(2025). 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. *体育学刊*, 1-8.
- Behrens, M., Gube, M., Chaabene, H., Prieske, O., Zenon, A., Broscheid, K. et al. (2022). Fatigue and Human Performance: An Updated Framework. *Sports Medicine*, 53, 7-31. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01748-2>
- Chen, Y., & Qin, X. (2023). Student Fatigue and Its Impact on Teaching Effectiveness Based on Online Teaching. *Education and Information Technologies*, 29, 10177-10200. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12197-3>
- de-Mateo-Silleras, B., Camina-Martín, M. A., Cartujo-Redondo, A., Carreño-Esciso, L., de-la-Cruz-Marcos, S., & Redondo-del-Río, P. (2019). Health Perception According to the Lifestyle of University Students. *Journal of Community Health*, 44, 74-80. <https://doi.org/10.1007/s10900-018-0555-4>
- Dumuid, D., Stanford, T. E., Martín-Fernández, J., Pedišić, Ž., Maher, C. A., Lewis, L. K. et al. (2018). Compositional Data Analysis for Physical Activity, Sedentary Time and Sleep Research. *Statistical Methods in Medical Research*, 27, 3726-3738. <https://doi.org/10.1177/0962280217710835>
- Engberg, I., Segerstedt, J., Waller, G., Wennberg, P., & Eliasson, M. (2017). Fatigue in the General Population—Associations to Age, Sex, Socioeconomic Status, Physical Activity, Sitting Time and Self-Rated Health: The Northern Sweden MONICA Study 2014. *BMC Public Health*, 17, Article No. 654. <https://doi.org/10.1186/s12889-017-4623-y>
- Gu, S., Min, X., Xu, J., & Chen, S. (2024). Correlation of Negative Emotion, Fatigue Level and Internet Addiction in College Students: Implication for Coping Strategies. *BMC Psychiatry*, 24, Article No. 264. <https://doi.org/10.1186/s12888-024-05711-5>

- Harris, A. L., Carmona, N. E., Moss, T. G., & Carney, C. E. (2021). Testing the Contiguity of the Sleep and Fatigue Relationship: A Daily Diary Study. *Sleep*, 44, Article No. 252. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsaa252>
- Liu, S., Xi, H., Zhu, Q., Ji, M., Zhang, H., Yang, B. et al. (2021). The Prevalence of Fatigue among Chinese Nursing Students in Post-Covid-19 Era. *PeerJ*, 9, e11154. <https://doi.org/10.7717/peerj.11154>
- Meng, F., Li, S., Cao, L., Li, M., Peng, Q., Wang, C. et al. (2015). Driving Fatigue in Professional Drivers: A Survey of Truck and Taxi Drivers. *Traffic Injury Prevention*, 16, 474-483. <https://doi.org/10.1080/15389588.2014.973945>
- Puetz, T. W., Flowers, S. S., & O'Connor, P. J. (2008). A Randomized Controlled Trial of the Effect of Aerobic Exercise Training on Feelings of Energy and Fatigue in Sedentary Young Adults with Persistent Fatigue. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 77, 167-174. <https://doi.org/10.1159/000116610>
- Smets, E. M. A., Garsen, B., Bonke, B., & De Haes, J. C. J. M. (1995). The Multidimensional Fatigue Inventory (MFI) Psychometric Qualities of an Instrument to Assess Fatigue. *Journal of Psychosomatic Research*, 39, 315-325. [https://doi.org/10.1016/0022-3999\(94\)00125-o](https://doi.org/10.1016/0022-3999(94)00125-o)
- Tang, C., Liu, C., Fang, P., Xiang, Y., & Min, R. (2019). Work-Related Accumulated Fatigue among Doctors in Tertiary Hospitals: A Cross-Sectional Survey in Six Provinces of China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16, Article No. 3049. <https://doi.org/10.3390/ijerph16173049>
- Wensink, M., Schaap, G., ten Klooster, P. M., Doggen, C. J. M., van der Palen, J., Vonkeman, H. E. et al. (2022). Physical and Mental Fatigue in Post-Covid Syndrome and Their Associations over Time: A Small-Sample ESM-Study to Explore Fatigue, Quality of Sleep and Behaviours. *Journal of Psychosomatic Research*, 164, Article ID: 111084. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2022.111084>
- Zheng, J., Tan, T. C., Zheng, K., & Huang, T. (2023). Development of a 24-Hour Movement Behaviors Questionnaire (24-HMBQ) for Chinese College Students: Validity and Reliability Testing. *BMC Public Health*, 23, Article No. 752. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-15393-5>