DOI: 10.16835/j.cnki.1000-9817.2025270

· 生长发育与健康监测 ·

拉萨市中学生体力活动和久坐行为与心肺耐力的关联

刘晨雨[1],袁梦[1],彭峰[1],宋博文[1],张晓彤[1],李明[2],李德生[3],孙毅[1],尹小俭[4]

1.鲁东大学体育学院,山东 烟台 264025;2.西藏民族大学体育学院;3.济南大学体育学院;4.华东师范大学体育与健康学院

【摘要】 目的 探讨西藏地区中学生体力活动(PA)和久坐行为(SB)与心肺耐力(CRF)的关系,为改善西藏地区青少年心肺耐力和提高健康水平提供实证参考。**方法** 2020 年 8—12 月,利用分层整群随机抽样方法从西藏拉萨市 2 所中学抽取 1 225 名13~18 岁初、高中生,使用三轴加速度计评估 PA 和 SB 行为,采用 20 m 往返跑对中学生 CRF 进行评估。采用等时替代模型分析 SB、低强度体力活动(LPA)、中高强度体力活动(MVPA)与 CRF 的关联,并通过限制性立方样条和两分段线性回归分析 MVPA 与 CRF 剂量-效应关系中的饱和阈值效应。**结果** 等时替代分析显示,调整性别、体质量指数、睡眠质量评分等协变量后,在 13~15 岁初中生中,用 30 min MVPA 替代 SB(B=1.73)和 LPA(B=2.38)与 CRF 均呈正相关;在 16~18 岁高中生中,用 30 min MVPA 替代 SB(B=0.99)和 LPA(B=1.38)与 CRF 均呈正相关(P 值均<0.05)。限制性立方样条和两分段线性回归分析表明,仅 13~18 岁中学女生 MVPA 与 CRF 存在饱和阈值效应关系(对数似然比检验=0.03),MVPA 为 60 min/d 时 CRF 提升效果最佳(B=0.13,P<0.01)。**结论** 减少 SB 和 LPA 的同时增加 MVPA 可改善西藏中学生 CRF;中学女生为更好提升 CRF 效果,每天 MVPA 至少应达到 60 min。

【关键词】 运动活动;久坐生活方式;心脏;肺;等时替代;青少年;少数民族

【中图分类号】 R 179 G 806 R 331.3^{+1} R 322.3^{+5} **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-9817(2025)09-1318-05

Association of physical activity and sedentary behavior with cardiorespiratory fitness among middle school students in Lhasa

LIU Chenyu*, YUAN Meng, PENG Feng, SONG Bowen, ZHANG Xiaotong, LI Ming, LI Desheng, SUN Yi, YIN Xiaojian

College of Physical Education, Ludong University, Yantai 264025, Shandong Province, China

【Abstract】 Objective To explore the relationship of physical activity (PA) and sedentary behavior (SB) with cardiorespiratory fitness (CRF) among middle schoold students in Tibet, so as to provide empirical references for improving the cardiorespiratory fitness and health levels of adolescents in Tibet. **Methods** From August to December 2020, 1 225 junior and senior high school students were selected from 2 middle schools in Lhasa, Tibet Autonomous Region, using the stratified cluster random sampling method. Triaxial accelerometers were used to evaluate PA and SB behaviors, and the 20-meter shuttle run was employed to assess CRF among the middle school students. Isochronous substitution modeling was used to analyze the associations of SB, low-intensity physical activity (LPA), and moderate-vigorous physical activity (MVPA) with CRF, and the saturation threshold effect in the dose-response relationship between MVPA and CRF was analyzed through restricted cubic spline and two-stage linear regression. **Results** After adjusting for covariates such as gender, body mass index and sleep quality score, isotemporal substitution analysis showed that among junior high school students aged 13-15, replacing 30 minutes of SB (B=1.73) or LPA (B=2.38) with MVPA were positively associated with CRF (both P<0.05). Among senior high school students aged 16-18, replacing SB (B=0.99) or LPA (B=1.38) with MVPA were also positively associated with CRF (both P<0.05). Restricted cubic spline and two-piecewise linear regression analyses indicated that only middle school girls aged 13-18 exhibited a saturation threshold effect between MVPA and CRF (logarithmic likelihood ratio test=0.03), with the optimal CRF improvement observed at 60 minutes of MVPA per day (B=0.13, P<0.01). **Conclusions** Reducing SB and LPA while increasing MVPA can improve CRF in Tibetan middle school students. To maximize CRF improvement, middle school girls should engage in at least 60 minutes of MVPA daily.

【Keywords】 Motor activity; Sedentary lifestyle; Heart; Lung; Isotemporal substitution; Adolescent; Minority groups

【基金项目】 国家自然科学基金资助项目(82373595);山东省教育科学“十四五”规划 2023 年度重点课题项目(2023ZD027)

【作者简介】 刘晨雨(1998-),男,山东省人,在读硕士,主要研究方向为儿童青少年体质健康促进。

【通信作者】 孙毅,E-mail:sunyi0084@163.com;尹小俭,E-mail:xjyin1965@163.com

心肺耐力(cardiorespiratory endurance, CRF)作为评估儿童青少年体质健康水平的关键性指标,反映了身体摄取、运输及利用氧气的综合能力,在儿童青少年体质健康的多维度构成中居于核心地位[1]。然而,随着现代生活方式的改变,儿童青少年群体的心肺耐力呈持续下降态势[2],对其整体健康状况构成了严峻挑战。在全球范围内,心肺耐力的下降与体力活动(physical activity, PA)减少和久坐行为(sedentary behaviors, SB)时间的增加密切相关[3]。有研究发现,虽然遗传因素对 CRF 有着重要的作用,但是儿童青少年 PA 对 CRF 的影响也不容忽视,特别是中高强度体力活动(moderate-to-vigorous physical activity, MVPA)可以显著改善儿童青少年的 CRF[4-5]。心肺耐力不仅受体力活动的影响,还与海拔高度关联密切[6]。

综上,本研究旨在了解西藏地区 13~18 岁中学生体力活动状况,探讨 MVPA 等时替代 SB 或低强度体力活动(low-intensity physical activity, LPA)与 CRF 的关联,为改善西藏地区青少年心肺耐力、提高健康水平提供实证参考。

1　对象与方法

1.1　对象　2020 年 8—12 月,采用分层整群随机抽样法选取研究对象。首先,将拉萨市中学教育学段划分为初中、高中 2 个层级,在初中层,通过 SPSS 软件的随机数生成器进行简单随机抽样,选取拉萨第八初级中学;高中层以相同方法随机选取拉萨中学。随后,在抽取的学校中,以班级为整群单位,对每个年级通过简单随机抽样选取 2 个藏族班级和 2 个汉族班级。共纳入 1 244 名中学生参与本研究。纳入标准:(1)身体健康可以完成体能测试;(2)能参与问卷填写项目。排除不符合加速度计配戴标准的 19 名参与者,剩余1 225 名纳入本次研究。其中 13~15 岁为初中组共 662 名(男生 314 名,女生 348 名),16~18 岁为高中组共 563 名(男生 264 名,女生 299 名)。全体受试者及其监护人全面知悉研究详情,并自愿签署知情同意书。研究方案获得华东师范大学人体实验伦理委员会批准(批号:HR 077-2020)。

1.2　方法

1.2.1　体力活动和久坐行为　使用 GT3X+(ActiGraph, Pensacola, FL)评估体力活动和久坐行为,加速度计安装在右侧髋部,采用 5 s 的采样间隔,连续记录 7 d 的 PA。在测试开始前,向参与者详细说明加速度计的配戴注意事项,要求除进行水上活动和睡眠时间外均需配戴。连续配戴 7 d(需要满足 5 个工作日和 2 个休息日)后,使用 ActiLife 6.10.2 版软件对采集到的数据进行处理;再根据 Marques 等[7]学者的标准,仅纳入至少配戴 3 d且包含 2 个上学日和 1 个休息日(周六或周日),且每天配戴时间超过 600 min 的有效数据用于分析。采用 Evenson 等[8]学者的切点值方案将 PA 分为不同强度:SB(0~100 次/min)、LPA(101~2 295 次/min)、中等强度体力活动(moderate physical activity, MPA)(2 296~4 011 次/min)、高强度身体活动(vigorous physical activity, VPA)(≥4 012 次/min)。本研究使用的切点在评估儿童青少年体力活动方面具有较高的信度和效度[9]。

1.2.2　心肺耐力　采用 20 m 往返跑对心肺耐力进行评估[10]。具体为在音乐节奏由慢到快的背景下,受试者在相距 20 m 的平行标志线间完成折返跑测试。初始速度为 8.0 km/h,逐渐提升至 9.0 km/h,随后每增加 1 个等级,速度相应增加 0.5 km/h;当被试连续 2 次在音乐铃声响起仍然未到达对方端线或中途不能坚持时即判定为测试结束,记录最终往返的次数[11]。采用 Matsuzaka 等[11]计算公式推测最大摄氧量(maximum oxygen uptake, VO_{2max})。

1.2.3　协变量　将性别、体质量指数(body mass index, BMI)、腰围、民族、睡眠质量评分、加速度计配戴时间等因素作为协变量,在进行等时替代模型(isotemporal substitution model, ISM)评估和限制性立方样条(restricted cubic spline, RCS)分析中对这些变量进行控制。(1)采用匹兹堡睡眠质量指数(Pittsburgh Sleep Quality Index, PSQI)[12]评价睡眠质量,量表由 19 个条目构成,涵盖主观睡眠质量、入睡时间、睡眠时间、睡眠效率、睡眠障碍、催眠药物使用及日间功能共 7 个维度。各维度依据 0~3 分的 4 级评分法赋值,将 7 个维度得分累加得到 PSQI 总分,总分范围 0~21 分,得分越高反映睡眠质量越差。研究表明,PSQI 在青少年中均有较高的信度和效度[13-14]。(2)采用便携式身高测量仪器测量参与者身高,精确到 0.1 cm;使用标准电子称测量参与者体重,精确到0.1 kg;腰围经专业测试人员采用卷尺进行测量,精确到 0.1 cm;BMI=体重(kg)/[身高(m)]^2。

1.3　质量控制　为确保数据质量,所有测试与调查均由经过统一培训和严格考核的专业人员执行。20 m 往返跑测试由经过专业培训的体育教师指导学生规范完成;PSQI 由经过培训的教师以班级为单位进行指导填写。在测试开始之前教师向学生和家长说明调查目的,

对填写不规范的条目进行更正后补测。数据由双人独立录入并交叉核对,确保准确性。

1.4 统计学分析 研究使用 IBM SPSS Statistics 26 和 R 4.3.3 软件进行数据分析。经正态性检验,所有数据指标接近正态分布,连续型变量采用($\bar{x}\pm s$)表示,采用独立样本 t 检验比较两组间各因素的差异。采用 ISM[15],以每天 30 min 为单位,模拟 MVPA 替代 LPA 或 SB 与 CRF 的关联。最后,采用 RCS(调整协变量后的模型)和两分段线性回归分析 MVPA 与 CRF 剂量—效应关系中的饱和阈值效应。检验水准 $\alpha=0.05$。

2 结果

2.1 拉萨市中学生基本特征 拉萨市 13~15 岁男生 LPA、MVPA、VO_{2max} 均高于女生,女生 SB 高于男生,差异均有统计学意义(P 值均<0.01)。16~18 岁男生 MVPA 和 VO_{2max} 高于女生,女生 SB 高于男生,差异均有统计学意义(P 值均<0.01);男、女生 LPA 差异无统计学意义(P>0.05)。见表 1。

表 1 拉萨市各年龄组不同性别中学生基本指标比较($\bar{x}\pm s$)

Table 1 Comparison of basic indicators among middle school students of different genders and age groups in Lhasa($\bar{x}\pm s$)

年龄/岁	性别	人数	统计值	BMI/(kg·m^{-2})	睡眠质量评分	VO_{2max}/[mL·(kg·min)$^{-1}$]	SB/(min·d^{-1})	LPA/(min·d^{-1})	MVPA/(min·d^{-1})	配戴加速度计时间/(min·d^{-1})
13~15	男	314		18.73±3.31	3.44±2.17	40.44±4.40	737.60±57.95	85.79±22.88	53.85±16.97	877.23±56.17
	女	348		18.83±2.98	3.84±2.10	35.90±3.18	769.09±65.26	74.25±18.71	41.85±12.35	885.19±62.23
			t 值	−0.39	−2.27	14.91	−6.53	7.05	10.30	−1.73
			P 值	0.43	0.08	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.09
16~18	男	264		20.49±3.27	3.63±2.33	40.34±5.67	781.87±68.09	70.09±19.36	58.72±16.04	910.68±61.96
	女	299		20.66±3.10	4.18±2.40	33.67±3.84	809.11±61.63	69.54±17.07	47.62±12.22	926.27±61.74
			t 值	−0.61	−2.11	16.03	−4.98	0.35	9.15	−2.99
			P 值	0.54	0.04	<0.01	<0.01	0.72	<0.01	<0.01

2.2 拉萨市中学生 PA 与 CRF 的 ISM 分析 调整协变量后,在 13~15 岁初中生中,以 30 min LPA 替代 SB 与 CRF 之间呈负相关($B=-0.65$, 95%$CI=-0.94\sim-0.37$);以 30 min MVPA 替代 SB($B=1.73$, 95%$CI=1.33\sim2.12$)和 LPA($B=2.38$, 95%$CI=1.80\sim2.97$)与 CRF 均呈正相关(P 值均<0.05)。在 16~18 岁高中生中,以 30 min MVPA 替代 SB($B=0.99$, 95%$CI=0.33\sim1.65$)和 LPA($B=1.38$, 95%$CI=0.42\sim2.33$)与 CRF 均呈正相关(P 值均<0.05);以 LPA 替代 SB 无统计学意义($B=-0.39$, 95%$CI=-0.89\sim0.11$, P>0.05)。

2.3 拉萨市中学生 MVPA 与 CRF 之间的饱和阈值效应 见图 1。

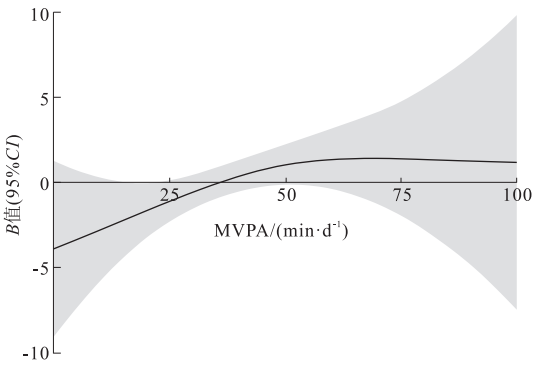


图 1 拉萨市 13~18 岁中学女生 MVPA 与 CRF 之间的剂量—反应关系

Figure 1 Dose-response relationship between MVPA and CRF in female middle school students aged 13-18 years in Lhasa

RCS 和两分段线性回归结果显示,13~18 岁中学女生 MVPA 与 CRF 之间存在饱和阈值效应(对数似然比检验=0.03)。总体而言,MVPA 和 CRF 呈正相关($B=0.01$, 95%$CI=0.00\sim0.13$, $P=0.05$)。随着每天 MVPA 时间增多、CRF 也相应增加,当 MVPA 为 60 min/d 时,MVPA 每增加 1 min/d,CRF 水平提升 13%($B=0.13$, 95%$CI=0.04\sim0.22$, P<0.01);当 MVPA>60 min/d 时产生 1 个饱和阈值,此时未发现 MVPA 和 CRF 的关联($B=-0.34$, 95%$CI=-0.70\sim0.02$, $P=0.08$),即中学女生 60 min/d 的 MVPA 活动时间可以最大程度提升 CRF 水平,继续增加 MVPA 时间不会给心肺耐力带来额外的益处。在 13~18 岁男生中未发现此关联。

3 讨论

为克服体力活动和久坐行为共变性对儿童青少年 CRF 的影响[16],Santos 等[17-18]采用 ISM,以 30 min 的替代时间评估 MVPA 替代 SB 和 LPA 对 CRF 的影响。本研究结果表明,西藏地区 13~18 岁中学生每天 30 min MVPA 替代 SB 或 LPA 与 CRF 之间呈正相关,与既往研究结果保持一致[17-18]。此外,MVPA 对西藏地区 13~18 岁中学女生 CRF 的影响存在饱和阈值效应,每天 60 min MVPA 能最大程度提升心肺耐力。

体力活动对青少年健康的重要性已经在以往的许多研究中得到证实[19-20]。在儿童青少年时期,减少 SB 对其身心健康有着积极影响[21],增加 MVPA 是改善身体素质和其他健康因素的关键手段[22]。MVPA 干预可提高儿童青少年 CRF[23],以往的研究结果普遍表明此

干预对改善儿童青少年的 CRF 有较好的效果[24]。Steele 等[25]研究表明,MVPA 通过增加肌肉参与度和血流量,有效提升心泵功能和肺换气能力,进而改善心肺功能。唐毅等[26]研究证实,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,应尽量将 SB 转化为 MVPA,以更好地促进心肺健康发展。本研究发现,以 30 min/d MVPA 替代 SB、LPA 与中学生 CRF 之间存在正向关联,表明通过增加 MVPA 替代 SB 和 LPA 是提高中学生 CRF 的有效途径。在本研究中,LPA 替代 SB 与 CRF 之间存在负相关,该结果与以往研究相反[26],可能与采用的 SB/LPA 强度分界值差异有关。当前不同学者对于加速度计建立的切点值标准不一,较低的界值会导致 LPA 高估和 SB 低估,从而可能混淆二者的健康效应[8]。

对于 LPA 的替代效应过往研究尚存在争议,有研究发现 LPA 替代 SB 与健康指标显著相关[27-28],将相同时间 LPA 替代 SB 后会使焦虑得分降低,并且 LPA 与健康指标的关联可能因为被试人群及结局指标不同而导致结果的差异。也有研究发现类似的结果[29-30],用 LPA 替代 SB 在身体组成方面差异在临床上无统计学意义,即肥胖干预措施应当用 MVPA 而不是 LPA,本研究支持后一观点。对于西藏地区中学生,不应将 PA 强度仅停留在 LPA 水平,更要制定提高 PA 强度的有效措施,达到改善 CRF 的目的。

横断面研究显示,每天累积 MVPA>40 min 的儿童青少年心肺耐力水平要高于 MVPA<18 min 者[31],MVPA 对 CRF 的改善发挥着更好的积极作用。此外,全明辉等[32]研究发现,平原地区的学龄前男童每天 MVPA 时间为 65 min 时与体质健康指标发生饱和阈值效应,而在女童中未发现此关系。本研究发现只有 13~18 岁中学女生 MVPA 与 CRF 存在饱和阈值效应,女生 60 min/d MVPA 即可最大程度提升 CRF;然而,在中学男生中未发现此种关联。与男生相比,女生 CRF 基线水平较低,改善 CRF 所需要的 MVPA 阈值也更低。另有研究表明,在男性青少年中,MVPA 对心肺耐力的提升作用可能主要由 VPA 驱动,其机制可能涉及 VPA 对心肺功能的更有效调节[33],从而避免阈值饱和效应。相比之下,女性青少年心肺耐力的提升更依赖于 MVPA[34],可能更早达到饱和状态。

综上,本研究结果表明,减少 SB 和 LPA,同时增加 MVPA 可有效改善西藏地区中学生的心肺耐力,凸显了 MVPA 对高海拔地区中学生心肺健康的关键作用,为优化高原特殊环境下的体力活动干预策略提供了实证依据。此外,研究发现中学女生 MVPA 与 CRF 间存在饱和阈值效应,即 MVPA 每天至少应达到60 min才能最大程度改善心肺耐力。基于研究结果,应聚焦于增加西藏中学生每日 MVPA 时长,鼓励中学生尽可能从“静坐少动”向“多动少坐”模式转换,可根据性别和年龄及低氧环境特征,设计阶梯式 MVPA 进阶方案(如从间歇性跑步过渡至持续性训练),确保运动安全性与效益最大化,以促进西藏地区中学生心肺耐力水平。

本研究存在一定的局限性:调查设计为横断面数据采集,难以做出变量间因果关系推断。另外,协变量的选择尚不足,可能存在未测量或潜在的协变量,导致结果存在偏倚。

利益冲突声明　所有作者声明无利益冲突。

参考文献

[1] 杨小芳.儿童青少年心肺耐力测评方法及其特征的研究[D].上海:华东师范大学,2021.
YANG X F. Study on the evaluation methods and characteristics of cardiorespiratory fitness in children and adolescents[D]. Shanghai: East China Normal University, 2021.(in Chinese)

[2] TOMLINSON L, ERSEK M, THOMPSON N, et al. Temporal trends in the cardiorespiratory fitness of children and adolescents: a systematic review[J]. Br J Sports Med, 2022,56(4):225-232.

[3] LAVIE C J, OZEMEK C, CARBONE S, et al. Sedentary behavior, exercise, and cardiovascular health[J].Circ Res, 2019,124(5):799-815.

[4] CHEN X, MA J, DONG L, et al. The association between physical activity and lung function in adolescents: a cross-sectional NHANES study [J]. Front Med, 2025,12:1538221.

[5] 李辉, 王乐. 24 h 活动行为对中心性肥胖中学生身体形态与心肺耐力影响的替代效益[J]. 中国学校卫生, 2025,46(5):662-666.
LI H, WANG L. Alternative benefits of 24-hour activity behavior on the physical shape and cardiorespiratory endurance of middle school students with central obesity[J]. Chin J Sch Health, 2025,46(5):662-666.(in Chinese)

[6] 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 Z G, DING J, WAN Q, et al. Association between physical activity and cardiopulmonary endurance of Chinese children and adolescents[J].Chin J Sch Health, 2022,43(3):429-432.(in Chinese)

[7] 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.

[8] EVENSON K R, CATELLIER D J, GILL K, et al. Calibration of two objective measures of physical activity for children[J].J Sports Sci, 2008,26(14):1557-1565.

[9] TROST S G, LOPRINZI P D, MOORE R, et al. Comparison of accelerometer cut points for predicting activity intensity in youth[J].Med Sci Sports Exerc, 2011,43(7):1360-1368.

[10] OLDS T, TOMKINSON G, LÉGER L, et al. Worldwide variation in

the performance of children and adolescents: an analysis of 109 studies of the 20-m shuttle run test in 37 countries[J]. J Sports Sci, 2006, 24(10): 1025-1038.

[11] MATSUZAKA A, TAKAHASHI Y, YAMAZOE M, et al. Validity of the multistage 20-m shuttle-run test for Japanese children, adolescents, and adults[J]. Pediatr Exerc Sci, 2004, 16(2): 113-125.

[12] BUYSSE D J, REYNOLDS C F, MONK T H, et al. The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research[J]. Psychiatry Res, 1989, 28(2): 193-213.

[13] 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.
LU T Y, LI Y, XIA P, et al. Analysis on reliability and validity of the Pittsburgh Sleep Quality Index[J]. Chongqing Med, 2014, 43(3): 260-263. (in Chinese)

[14] 王悦, 余程东, 杨兴堂, 等. 匹兹堡睡眠质量指数在患近视青少年中的信效度评价[J]. 现代预防医学, 2019, 46(6): 1062-1065, 1069.
WANG Y, YU C D, YANG X T, et al. Reliability and validity evaluation of the Pittsburgh Sleep Quality Index in adolescents with myopia[J]. Mod Prev Med, 2019, 46(6): 1062-1065, 1069. (in Chinese)

[15] MEKARY R A, DING E L. Isotemporal substitution as the gold standard model for physical activity epidemiology: why it is the most appropriate for activity time research[J]. Int J Environ Res Public Health, 2019, 16(5): 797.

[16] MEKARY R A, WILLETT W C, HU F B, et al. Isotemporal substitution paradigm for physical activity epidemiology and weight change[J]. Am J Epidemiol, 2009, 170(4): 519-527.

[17] SANTOS D A, MARQUES A, MINDERICO C S, et al. A cross-sectional and prospective analyse of reallocating sedentary time to physical activity on children's cardiorespiratory fitness[J]. J Sports Sci, 2018, 36(15): 1720-1726.

[18] JONES M A, SKIDMORE P M, STONER L, et al. Associations of accelerometer-measured sedentary time, sedentary bouts, and physical activity with adiposity and fitness in children[J]. J Sports Sci, 2020, 38(1): 114-120.

[19] SUN F, WILLIAMS C A, SUN Q, et al. Effect of eight-week high-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training programme on body composition, cardiometabolic risk factors in sedentary adolescents[J]. Front Physiol, 2024, 15: 1450341.

[20] FANG C, ZHANG J, ZHOU T, et al. Associations between daily step counts and physical fitness in preschool children[J]. J Clin Med, 2020, 9(1): 163.

[21] FAßBENDER D M, KREFFTER K, GÖTZ S, et al. Is the level of motor development at school entry related to the use of municipal exercise programs? A social-differential analysis[J]. Int J Environ Res Public Health, 2022, 19(5): 3047.

[22] YAN W, NIE M, MA R, et al. The influence of physical literacy of student with different obesity levels on physical fitness: the mediating effect of MVPA[J]. Front Public Health, 2024, 12: 1463108.

[23] VAN DER FELS I M J, HARTMAN E, BOSKER R J, et al. Effects of aerobic exercise and cognitively engaging exercise on cardiorespiratory fitness and motor skills in primary school children: a cluster randomized controlled trial[J]. J Sports Sci, 2020, 38(17): 1975-1983.

[24] HARTWIG T B, SANDERS T, VASCONCELLOS D, et al. School-based interventions modestly increase physical activity and cardiorespiratory fitness but are least effective for youth who need them most: an individual participant pooled analysis of 20 controlled trials[J]. Br J Sports Med, 2021, 55: 721-729.

[25] STEELE J R, COLTMAN C E, MCGHEE D E. Effects of obesity on breast size, thoracic spine structure and function, upper torso musculoskeletal pain and physical activity in women[J]. J Sport Health Sci, 2020, 9(2): 140-148.

[26] 唐毅, 宋云峰, 杜以民, 等. 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[J]. 中国儿童保健杂志, 2024, 32(8): 826-831, 855.
TANG Y, SONG Y F, DU Y M, et al. Association between 24-hour activity behavior and cardiorespiratory endurance in children and adolescents based on isochronous substitution models[J]. Chin J Child Health Care, 2024, 32(8): 826-831, 855. (in Chinese)

[27] DE FARIA F R, BARBOSA D, HOWE C A, et al. Time-use movement behaviors are associated with scores of depression/anxiety among adolescents: a compositional data analysis[J]. PLoS One, 2022, 17(12): e0279401.

[28] KITANO N, KAI Y, JINDO T, et al. Compositional data analysis of 24-hour movement behaviors and mental health in workers[J]. Prev Med Rep, 2020, 20: 101213.

[29] DUMUID D, WAKE M, CLIFFORD S, et al. The association of the body composition of children with 24-hour activity composition[J]. J Pediatr, 2019, 208: 43-49.

[30] KANDOLA A A, DEL POZO C B, OSBORN D P J, et al. Impact of replacing sedentary behaviour with other movement behaviours on depression and anxiety symptoms: a prospective cohort study in the UK Biobank[J]. BMC Med, 2021, 19(1): 133.

[31] CABANAS-SÁNCHEZ V, MARTÍNEZ-GÓMEZ D, IZQUIERDO-GÓMEZ R, et al. Association between clustering of lifestyle behaviors and health-related physical fitness in youth: the UP&DOWN study[J]. J Pediatr, 2018, 199: 41-48.e1.

[32] 全明辉, 方春意, 周悦, 等. 学龄前儿童不同簇集特征体力活动与体质健康的剂量-效应关系研究[J]. 体育科学, 2020, 40(3): 39-45.
QUAN M H, FANG C Y, ZHOU T, et al. Dose-response relationship between bouts of physical activity and physical health in preschool children[J]. China Sport Sci, 2020, 40(3): 39-45. (in Chinese)

[33] KIM J, LEE S, PARK H, et al. Differential effects of moderate vs. vigorous physical activity on cardiorespiratory fitness in adolescent boys: a longitudinal mediation analysis[J]. J Pediatr, 2023, 252: 153-160.e2.

[34] CABANAS-SÁNCHEZ V, MARTÍNEZ-GÓMEZ D, IZQUIERDO-GÓMEZ R, et al. Sex-specific associations between intensity-specific physical activity and cardiorespiratory fitness in adolescents: the UP&DOWN study[J]. Int J Environ Res Public Health, 2021, 18(16): 8602.

收稿日期: 2025-03-20 **修回日期**: 2025-07-02 **本文编辑**: 顾璇