

·运动人体科学·

促进初中生脊柱健康：基于身体活动强度、 剂量与场域维度的分析

李金坤, 鲁长芬, 龚禄棒, 朱玉萍, 罗小兵
(华中师范大学 体育学院, 湖北 武汉 430079)

摘 要: 探讨初中生身体活动与脊柱侧弯的关系并提出相关建议。采用 ActiGraph wGT3X-BT 型三轴加速度传感器和躯干旋转测量仪测量初中生活活动行为和脊柱侧弯数据, 采用成分等时替代和校内或校外身体活动模式分析, 从身体活动强度、活动剂量和活动场域层面探讨身体活动对初中生脊柱侧弯的影响。结果显示: 久坐(sedentary behaviour, SB)时间占比能够正向预测初中的脊柱侧弯程度, 中高强度身体活动(moderate-to-vigorous physical activity, MVPA)等时替代低强度身体活动(light physical activity, LPA)、SB 和睡眠(sleep, SP)后脊柱侧弯角度均显著降低, 而 LPA、SB 和 SP 等时替代 MVPA 后脊柱侧弯角度均显著上升。MVPA 等时替换 LPA、SB、SP 与 LPA、SB、SP 等时替换 MVPA 对脊柱侧弯影响的剂量-效应曲线呈现不对称趋势, 即 MVPA 等时替代 LPA、SB、SP 时脊柱侧弯的下降幅度明显低于 LPA、SB、SP 等时替代 MVPA 时脊柱侧弯的上升幅度。相对于 MVPA 不活跃型的初中生, MVPA 活跃型、MVPA 校内活跃型和 MVPA 校外活跃型的初中生脊柱侧弯程度更低, 而这 3 种类型初中生的脊柱侧弯程度不存在显著差异。预防初中生脊柱侧弯应增加 MVPA 时间, 建立 MVPA 预警机制并建立促进校内或校外身体活动的协同机制。

关键词: 脊柱侧弯; 身体活动; 成分等时替代; 校内或校外模式; 初中生

中图分类号: G807.2 文献标志码: A 文章编号: 1006-7116(2026)02-0137-08

Promoting spinal health in junior high school students: Analysis based on the dimensions of physical activity intensity, dosage and field

LI Jinkun, LU Changfen, GONG Lubang, ZHU Yuping, LUO Xiaobing

(School of Physical Education and Sports, Central Normal China University, Wuhan 430079, China)

Abstract: To explore the relationship between physical activity and scoliosis in junior high school students, and also put forward relevant suggestions. ActiGraph wGT3X-BT accelerometer and the scoliometer were respectively used to measure activity behavior and scoliosis data for junior high school students, and the methods of compositional isotemporal substitution and analysis of in-school or out-of-school physical activity patterns were adopted to explore the relationship of physical activity on scoliosis from the aspects of physical activity intensity, activity dosage, and activity field. Results showed that the proportion of sedentary time could positively predict the degree of scoliosis among junior high school students. When moderate-to-vigorous physical activity (MVPA) is substituted for light physical activity (LPA), SB, and sleep (SP) for the same amount of time, it can significantly reduce the degree of scoliosis. Conversely, when LPA, SB, and SP are substituted for MVPA for the same amount of time, it can significantly increase the degree of scoliosis. The dose-response curves of the impact on scoliosis when MVPA replaces LPA, SB, and SP and when LPA, SB, and SP replace MVPA show an asymmetric trend. That is, when MVPA is substituted for LPA, SB, and SP for the same duration, the decrease in scoliosis is significantly lower

收稿日期: 2025-08-25

基金项目: 华中师范大学 2025 年度第一批“优秀种子培育项目”(CCNU25ZZ114)。

作者简介: 李金坤(1997-), 男, 博士研究生, 研究方向: 身体活动与健康促进。E-mail: 1420175344@qq.com 通信作者: 罗小兵

than the increase in scoliosis, while LPA, SB, and SP are substituted for MVPA for the same duration. Compared with junior high school students who are inactive in MVPA, junior high school students who are active in MVPA, those who are active in MVPA outside school, and those who are active in MVPA in school have a lower degree of scoliosis, there is no significant difference in the degree of scoliosis among these three types of junior high school students. Conclusion and suggestions will be that to prevent scoliosis among junior high school students, the time of MVPA should be increased, an early warning mechanism for MVPA should be established, and a collaborative mechanism to promote physical activity inside and outside school should be also established.

Keywords: scoliosis; physical activity; compositional isotemporal substitution; inside and outside school patterns; junior high school students

脊柱弯曲已成为继肥胖、近视后,危害儿童青少年健康的第三大疾病。脊柱弯曲存在危害性大、隐匿性强、矫正率低等特点,严重威胁着儿童青少年的健康成长^[1]。国家儿童青少年脊柱侧弯防控工作组组长刘海鹰表示:脊柱侧弯人数已经超过 500 万并以每年 30 万左右的速度递增,且有研究表明中学生脊柱侧弯的比例(初中生 4.12%,高中生 5.51%)明显高于小学生(1.40%)^[2]。这提示初中阶段是脊柱侧弯问题发展的关键转折点,也是防治工作的重要窗口期。相关研究表明,身体活动是预防脊柱侧弯的有效手段。横断面研究证据表明,与每天户外活动时间<1 h 相比,每天户外活动时间 1~2 h 的中小学生发生脊柱侧弯风险降低 48%^[3]。纵向追踪证据表明,11 岁时的中高强度身体活动(moderate-to-vigorous physical activity, MVPA)水平能够负向预测 15 岁时的脊柱侧弯患病率^[4]。基于横断面元分析证据表明,较高水平身体活动的个体脊柱侧弯发生率较低^[5]。基于实验干预的元分析证据表明,体育锻炼不仅可以预防脊柱侧弯,而且可以在一定程度上矫正脊柱侧弯^[6]。此外,身体活动与脊柱侧弯的关系受身体活动强度、时间和类型的影响。在身体活动强度方面,现有证据表明 MVPA 比低强度身体活动(light physical activity, LPA)更能有效预防脊柱侧弯^[4]。在身体活动时长方面,每天进行 1~2 h 的身体活动能有效降低侧弯率,2 h 乃至更长时间的身体活动并不能进一步降低脊柱侧弯的风险^[3]。在身体活动类型方面,球类运动项目能够有效预防脊柱侧弯^[7-8],而难美型运动项目反而会加剧脊柱侧弯程度^[9]。

尽管目前研究考察了身体活动对于防治脊柱侧弯的价值,当仍存在一定局限。相关研究多采用《身体活动等级量表》等传统主观测量工具评估身体活动水平,此类工具难以客观反映被试的身体活动水平,且无法准确区分中 MVPA、LPA、久坐(Sedentary Behaviour, SB)等活动行为状态。这导致难以全面考量不同活动行为以及不同活动行为间的共变关系对脊柱侧弯的影响,易引发伪相关问题,同时增加了数据模型出现多

重共线性的风险^[10],进而干扰研究结论的准确性与可靠性。国外学者率先利用成分等时替代分析探讨 24 h 活动行为,包括 MVPA、LPA、SB 和睡眠(sleep, SP)对健康指标(如血压、有氧适能)的影响^[11],我国也有学者采用成分等时替代分析探讨 24 h 活动行为与 zBMI、执行功能等变量的关系^[12-14],但目前还缺乏运用成分等时替代从整体上探讨 24 h 活动行为对脊柱侧弯影响的研究。基于此,本研究拟采用 ActiGraph wGT3X-BT 型三轴加速度传感器来测量初中生的活动行为,以避免传统主观测量工具无法区分 MVPA、LPA、SB 等活动行为状态;采用成分等时替代分析^[15]考察 24 h 活动行为与初中生脊柱侧弯的关系。在克服伪相关和多重共线性问题基础上,综合评估 24 h 中不同活动行为对初中生脊柱侧弯的影响,旨在进一步明晰 24 h 活动行为对脊柱侧弯的影响效果及其剂量-效应。

在通过成分等时替代分析探讨身体活动对脊柱侧弯的影响效应基础上,考察不同场域身体活动对脊柱侧弯的影响差异,有助于明确脊柱侧弯预防工作中家校角色定位,是构建家校协同预防体系的重要前提。然而,已有研究并未考察校内或校外身体活动模式对身心健康影响效果的区别,致使身体活动预防初中生身心健康进程中可能出现家校角色定位不清、协同效能不足等困境。相关研究将身体活动进行模式划分,例如根据 MVPA 时间的达标情况和集中程度划分为“周末战士型”“规律活跃型”“不活跃型”身体活动模式^[16],为划分和分析校内或校外身体活动模式提供有益参考。鉴于上述背景,本研究旨在进一步揭示校内或校外身体活动模式对脊柱侧弯的影响差异。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

本研究使用 G*power 软件对所需样本量进行计算。因类型为横断研究且变量均为连续变量,故采用双侧检验,设定效应量为 0.5,检验标准 $\alpha=0.05$,检验效能 $1-\beta=0.9$,经计算得出最低样本量为 112。本研

究选择社会经济发展处于中等水平的“中部崛起战略”支点省份湖北省进行调研, 抽取湖北省 3 座城市 6 所初中的 20 个班级的学生作为调查对象。秉持自愿参与原则, 在向学生及其监护人详细介绍研究目的、流程等相关事项后发放知情同意书, 充分保障其知情权, 并针对学生本人同意且家长签名的学生开展活动行为监测以及脊柱侧弯测试。测试结束后, 对 770 名实际参与调研学生的测试数据进行筛选, 剔除测试不达标的 142 个样本, 最终纳入有效样本 628 人, 总体有效率为 81.56%。

1.2 研究方法

1) 测量法。

24 h 活动行为测量: 采用 ActiGraph wGT3X-BT 型三轴加速度传感器来测量初中生的身体活动和久坐行为。在测试过程中, 要求受试者将加速度计佩戴于髌骨上侧, 1 周(包括 5 个完整上学日和 2 个周末)内除晚上睡觉和涉水活动时间(如洗澡、游泳)外都须佩戴。为保证数据的有效性, 测试人员定时(入校、中午、放学)检查和监督学生上学日加速度计的佩戴情况, 并通过微信群提醒家长监督学生周末按要求佩戴加速度计。测试结束后, 使用 Actigraph 6.5 对加速度计数据进行筛选和处理, 设置每天佩戴时间超过 480 min 且每周至少佩戴 3 天(2 个工作日和 1 个周末)为有效样本数据^[17]。设定采样频率为 30 Hz, 即采样间隔为 1/30 s, 并依据 Evenson 等^[18]提出切点值对中学生不同强度活动行为进行划分, 划分标准为: 0~100 counts/min 为 SB, 101~2 295 counts/min 为 LPA, 2 296~4 011 counts/min 为中等强度身体活动(moderate physical activity, MPA), $\geq 4 012$ counts/min 为高强度身体活动(vigorous physical activity, VPA), MVPA 时长为 MPA 与 VPA 的时长加总。考虑到腰间佩戴加速度计可能干扰学生睡眠, 本研究在睡眠时间测量上采用“主观记录与客观数据交叉验证”的方法。参考已有研究^[13-14], 学生需每日清晨通过睡眠记录表如实填写前一晚入睡与当日晨起的具体时间。为降低回忆偏差对数据准确性的影响, 研究将 ActiLife 软件导出的加速度计佩戴数据作为验证依据, 即通过分析睡前取下设备至次日起床重新佩戴的“空档期”时间范围, 建立双重校验机制。若学生记录的睡眠起止时间完全包含于空档期内, 则以睡眠记录表数据为准; 若记录时间不完全包含于空档期内, 则采用空档期数据进行计算。

脊柱侧弯测量: 依据《儿童青少年脊柱弯曲异常的筛查》, 由接受过专业训练的测量团队对受试者进行一般检查、前屈试验、脊柱运动试验与躯干旋转测量仪检查。测量部位包括胸段、腰胸段和腰段, 取值于

侧弯角度最大处, 3 处测量结果皆 $< 5^\circ$ 判定为无侧弯, 部位有一处侧弯角度 $\geq 5^\circ$ 则判定为脊柱侧弯。

2) 数理统计法。

成分等时替代数据分析: 参照 Chastin 等^[15]和 Dumuid 等^[19]提出的 24 h 活动行为成分数据分析指南, 在 R 统计软件中(4.2.3)中运行成分数据代码进行分析。(1)在筛选完有效数据后, 计算有效天数的 MVPA、LPA、SB 和 SP 的日均时长。若数据处于非闭合状态(MVPA、LPA、SB 和 SP 时长总和 $\neq 1 440$ min), 则通过闭合操作(按比例缩放调整), 确保调整后 4 种活动行为比例相加等于 1 且日均总和为 1 440 min 的闭合数据, 适合进行成分数据分析。(2)对成分变量进行描述性统计, 并计算相关变量的成分几何均值以揭示 24 h 活动行为在时间维度上的分布趋势。此外, 借助变异矩阵对数据离散程度进行量化描述。(3)采用等距对数比(Isometric log-ratio, ilr)转换, 将成分数据从单形空间映射到欧式空间, 以消除成分数据之间的多重共线性问题, 在此基础上探讨 24 h 整体健康效应下不同活动行为与初中生脊柱侧弯的关系。(4)采用成分数据等时替代分析法, 探讨 4 种活动行为(MVPA、LPA、SB 和 SP)进行相互等时替换后对结果指标的影响。

校内或校外身体活动模式分析: 在通过成分等时替代分析明确不同强度身体活动对脊柱侧弯的影响效应基础上, 进一步探讨校内或校外身体活动模式对初中生脊柱侧弯的影响。在身体活动场域划分上, 根据学校的课程表安排, 通过 Actilife 软件对学生的校内和校外身体活动时间进行切割和计算。以初中生 1 周内校内和校外不同强度身体活动时长的中位数为截断点, 将受试者划分为不同类型的校内或校外身体活动模式, 运用协方差分析探讨校内或校外身体活动模式对脊柱侧弯程度的影响。

2 结果与分析

2.1 描述统计

1) 初中生脊柱侧弯现状与特征。

采用描述性统计和独立样本 t 检验对初中生的脊柱侧弯现状及特征进行分析(见表 1), 结果表明, 初中生脊柱侧弯平均角度为 $(2.05^\circ \pm 1.40^\circ)$, 脊柱侧弯率为 6.4%。初中生脊柱侧弯存在性别和城市类型差异。具体而言, 女生脊柱侧弯程度大于男生($t = 2.38$, $P < 0.05$), 非省会城市初中生脊柱侧弯程度大于省会城市($t = 3.73$, $P < 0.01$)。

2) 初中生 24 h 活动行为描述统计。

通过 R(4.4.2)软件将加速度计测量的初中生活活动行为数据转化为 24 h 成分数据(见表 2)。初中生日均

MVPA、LPA、SB和SP的成分均值依次为40.50、156.84、772.91和469.72 min, 比例依次为2.81%、10.89%、53.67%和32.62%。初中生日均MVPA、LPA、SB和SP的算术均值依次为45.52、162.98、764.78、464.72 min, 比例依次为3.16%、11.32%、53.11%和32.27%。

表 1 初中生脊柱侧弯现状与特征 (n=628)

变量	人数	脊柱侧弯程度			
		均值	t	P	
性别	男	306	1.91±1.27	2.38	0.021
	女	322	2.18±1.51		
年级	初一	344	1.96±1.40	1.81	0.071
	初二	284	2.16±1.39		
城市	省会	344	1.86±1.31	3.73	0.000
	非省会	283	2.28±1.48		

表 2 初中生 MVPA、LPA、SB、SP 基本情况 (n=628)

类别	MVPA	LPA	SB	SP
成分均值/min	40.50	156.84	772.91	469.72
成分均值占比/%	2.81	10.89	53.67	32.62
算术均值/min	45.52	162.98	764.78	464.72
算术均值标准差/min	28.81	64.60	120.17	92.83
算术均值占比/%	3.17	11.33	53.18	32.32

2.2 成分等时替代分析

1)成分数据的集中和离散趋势。

采用成分数据变异矩阵反映成分数据的集中和离

散趋势(见表 3)。结果表明,不同活动行为之间的对数比均大于 0,说明不同活动行为之间在一定程度上存在一定程度的依赖性,也存在彼此替换的可能性。其中 SB 与 SP 对数比方差最小且仅为 0.006 3,说明久坐和睡眠的相互依赖性最强,如果发生转换,该两种行为之间最有可能发生替换。正序排名前 3 的对数比方差都涉及 MVPA,表示 MVPA 与其他 3 种行为的相互依赖性最弱,即初中生花费在 MVPA 上的时间最为稳定。其中, MVPA 与 SP 对数比方差最大,提示如果发生转换,这 2 种行为之间替换的概率最低。MVPA 与 LPA 对数比方差最小,提示如果发生转换,这 2 种行为替换的概率最高。

表 3 成分数据变异矩阵 (n=628)

类别	MVPA	LPA	SB	SP
MVPA	0.000 0	0.150 4	0.175 3	0.211 8
LPA	0.150 4	0.000 0	0.093 0	0.101 4
SB	0.175 3	0.092 8	0.000 0	0.006 3
SP	0.211 8	0.101 4	0.006 3	0.000 0

2)初中生 24 h 活动行为时间占比与脊柱侧弯关系。

控制性别、年级、城市这些协变量后,分别以 ilr 转换后的 MVPA、LPA、SB、SP 时间占比为自变量,脊柱侧弯角度为因变量进行成分线性回归分析,探究初中生 24 h 活动行为时间分布与脊柱侧弯之间的关系(见表 4)。结果表明,SB($\beta=1.18, P<0.05$)的时间占比可显著正向预测脊柱侧弯角度。

表 4 24 h 活动行为与脊柱侧弯的成分线性回归模型 (n=628)

类别	MVPA			LPA			SB			SP		
	β	95%CI	P	β	95%CI	P	β	95%CI	P	β	95%CI	P
脊柱侧弯	-0.22	[-0.56,0.11]	0.18	0.12	[-0.41,0.64]	0.66	1.18	[0.45,2.32]	<0.05	0.04	[-0.44,0.51]	0.88

3)初中生 24 h 活动行为等时替代 15 min 对脊柱侧弯的影响。

以往研究表明,4种活动行为进行15min的相互替换后会对健康指标产生显著影响^[19-20],故本研究以15min为标准,在控制性别、年龄、城市后,探讨在这一时间尺度下4种活动行为相互替换15min后脊柱侧弯指标的变化(见表5)。15min等时替代模型预测变化结果显示:用MVPA替代LPA、SB、SP后,侧弯角度分别减少-0.1522、-0.1403、-0.1385个单位值;反之用LPA、SB和SP替代MVPA后,侧弯角度分别增加0.2143、0.2040、0.2023个单位值。而其他活动行为进行相互替换后对脊柱侧弯的影响不显著。

表 5 24 h 活动行为间 15 min 等时替代与脊柱侧弯预测值的变化 (n=628)

替代行为	被替代行为	脊柱侧弯(95%CI)
MVPA	SB	-0.140 3 ¹⁾ (-0.233 8, -0.046 7)
MVPA	LPA	-0.152 2 ¹⁾ (-0.277 8, -0.026 7)
MVPA	SP	-0.138 5 ¹⁾ (-0.236 7, -0.040 4)
LPA	SB	0.010 5(-0.027 2, 0.048 2)
LPA	MVPA	0.214 6 ¹⁾ (0.048 4, 0.380 7)
LPA	SP	0.012 2(-0.027 9, 0.052 3)
SB	LPA	-0.012 0(-0.053 2, 0.029 1)
SB	MVPA	0.204 0 ¹⁾ (0.066 3, 0.341 7)
SB	SP	0.001 6(-0.017 9, 0.021 2)
SP	SB	-0.001 8(-0.021 0, 0.017 4)
SP	LPA	-0.013 8(-0.057 0, 0.029 5)
SP	MVPA	0.202 3 ¹⁾ (0.060 3, 0.344 3)

1)P<0.05

4)初中生 24 h 活动行为对脊柱侧弯影响的剂量-效应。

鉴于调查数据中 MVPA 的成分均值为 40.50 min,并综合考虑 15 min 替换结果呈现的实际情况,故本研究以 5 min 为增量对上述呈现出显著替换效应的活动行为进行-30 min~30 min 区间的持续时间替换,以揭示 24 h 活动行为不同替换时间与脊柱侧弯的“剂量-效应”梯度。

-30 min~30 min 等时替代模型预测变化结果显示:随着 MVPA 等时替代 LPA、SB、SP 时间的增加,学生的脊柱侧弯程度出现下降趋势;反之,随着 LPA、SB、SP 等时替代 MVPA 时间的增加,学生的脊柱侧弯程度呈现增加趋势。值得注意的是, MVPA 等时替代 LPA、SB、SP 与 LPA、SB、SP 等时替代 MVPA 对脊柱侧弯影响的剂量-效应曲线呈现不对称趋势。具体而言, LPA、SB、SP 等时替代 MVPA 时脊柱侧弯的上升幅度明显高于 MVPA 等时替代 LPA、SB、SP 时脊柱侧弯的下降幅度,且 LPA、SB、SP 等时替代 MVPA20~30 min 时脊柱侧弯上升趋势明显增加(见图 1)。

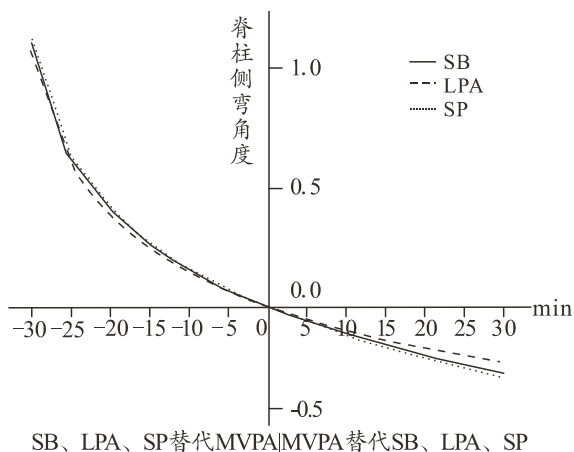


图1 MVPA 等时替代 LPA、SB、SP 对脊柱侧弯影响的变化趋势

2.3 校内或校外身体活动模式分析

成分等时替代分析结果表明, MVPA 等时替代其他活动行为能负向预测脊柱侧弯程度,故进一步分析校内或校外 MVPA 模式对脊柱侧弯的影响。由于受试者一周期间校内 MVPA 时长中位数为 129 min,校外 MVPA 时长中位数为 88 min,据此将初中生划分为 4 种类型: MVPA 活跃型(校内 MVPA>129 min,且校外 MVPA>88 min), MVPA 校内活跃型(校内 MVPA>129 min,且校外 MVPA<88 min), MVPA 校外活跃型(校内 MVPA<129 min,且校外 MVPA>88 min), MVPA 不活跃型(校内 MVPA<129 min,且校外 MVPA<88 min)。

本研究中初中生脊柱侧弯率为 6.4%,若将脊柱侧弯与否做二分类变量处理难以掌握身体活动影响脊柱侧弯的趋势,故将性别、年级、城市作为协变量,通过协方差分析来探讨校内或校外 MVPA 模式与脊柱侧弯程度的关系。结果表明,性别、年级、城市与 MVPA 模式间不存在交互作用。进一步分析表明,相对于 MVPA 不活跃型, MVPA 活跃型($\eta^2=0.011, P<0.05$)、MVPA 校内活跃型($\eta^2=0.010, P<0.05$)和 MVPA 校外活跃型($\eta^2=0.025, P<0.001$)的脊柱侧弯程度较低。为进一步比较 MVPA 活跃型、MVPA 校内活跃型和 MVPA 校外活跃型对脊柱侧弯的影响差异,分别以 MVPA 校外活跃型和 MVPA 校内活跃型作为参照组进行协方差分析。结果表明,性别、年级、城市与 MVPA 模式间不存在交互作用。进一步分析表明,相对于 MVPA 校外活跃型, MVPA 活跃型、MVPA 校内活跃型的脊柱侧弯程度与之不存在显著差异;相对于 MVPA 校内活跃型, MVPA 活跃型的脊柱侧弯程度与之不存在显著差异(见表 6)。

表6 初中生 MVPA 模式与脊柱侧弯角度的关系($r=628$)

活动模式	n	M±SD	η^2	P
MVPA 活跃型	218	1.95±1.36	0.011	0.008
MVPA 校内活跃型	85	1.87±1.17	0.010	0.012
MVPA 校外活跃型	125	1.74±1.23	0.025	0.001
MVPA 不活跃型	200	2.43±1.56	参照组	
MVPA 活跃型	218	1.95±1.36	0.009	0.052
MVPA 校内活跃型	85	1.87±1.17	0.003	0.258
MVPA 校外活跃型	125	1.74±1.23	参照组	
MVPA 活跃型	218	1.95±1.36	0.001	0.589
MVPA 校内活跃型	85	1.87±1.17	参照组	

3 讨论

本研究中湖北省初中生脊柱侧弯检出率为 6.4%,该比例高于浙江省初中生脊柱侧弯检出率(4.12%)^[2],而低于郑州市中学生脊柱侧弯检出率(7.3%)^[21],说明初中生脊柱侧弯率存在地域差异,也提示目前初中生的脊柱侧弯情况不容乐观。此外,女生的脊柱侧弯程度明显高于男生,这与以往研究结果相同^[2,22]。有大规模样本调研发现 10~16 岁儿童青少年,每个年龄阶段女生的脊柱侧弯率均高于男生^[23],这可能与女生分泌的雌激素对骨骼生长的代谢作用有关^[24]。这提示,在脊柱侧弯的防治工作中要重点关注女生。本研究也表明,省会城市的脊柱侧弯率要明显低于非省会城市,以往研究也表明发达地区学生的脊柱侧弯率高于欠发达地区^[2,25],这可能是由于发达地区与欠发达地域之间存在医疗条件、健康观念等方面的差异有关。研究结果还显示,

初中生 MVPA 成分均值为 40.50 min, 低于《中国儿童青少年身体活动指南》的推荐量(每日不少于 60 min)。初中生 SP 成分均值为 469.75 min, 低于《关于进一步加强中小学睡眠管理工作的通知》的推荐量(每日应达到 9 h), 这说明初中生的 MVPA 和 SP 时间被 SB 挤压, 难以保障健康行为习惯。

本研究尝试采用成分等时替代分析对 24 h 活动行为与脊柱侧弯的关系进行研究, 结果表明, SB 时间占比可以显著负向预测脊柱侧弯程度, 说明 SB 时间增加可能是脊柱侧弯的风险性因素, SB 时间较长会因脊柱两侧受力不均、肌肉功能下降等原因加重脊柱侧弯程度^[4]。15 min 等时替代模型预测变化结果显示, MVPA 等时替代 LPA、SB 和 SP 可显著降低脊柱侧弯程度, 而 LPA、SB 和 SP 替代 MVPA 则会加重脊柱侧弯程度, 进而从 24 h 时间共变性的角度佐证 MVPA 对于脊柱健康的促进作用^[3-8]。MVPA 促进青少年脊柱侧弯健康可从以下角度来理解: 从肌肉支撑的角度来看, 脊柱的稳定性和平衡性依赖于周围肌肉, 尤其是竖脊肌的支撑^[26], MVPA 能够有效刺激全身肌肉群、增强肌肉力量, 从而提升脊柱稳定性、降低脊柱侧弯风险。就提高骨密度层面来看, 骨密度是维持脊柱稳定性的重要基础^[27-29]。已有研究表明 MVPA 对骨骼和肌肉的锻炼有助于提高骨密度^[30], 进而为预防脊柱侧弯提供保障。基于合成维生素 D 的视角来看, 户外 MVPA 活动还能通过充足的紫外线暴露促进维生素 D 的合成, 优化钙代谢和骨骼矿化过程, 从而增强骨密度、骨骼肌质量及肌肉力量^[31], 从多维度协同预防脊柱侧弯。

-30 min~30 min 等时替代模型预测变化结果显示, MVPA 与 LPA、SB、SP 在 30 min 内的相互替代呈现出不对称的脊柱侧弯变化曲线且存在明显拐点。具体而言, MVPA 时长减少(被 LPA、SB、SP 替代)导致的脊柱侧弯上升趋势, 比 MVPA 时长增加(替代 SB、SP)导致的下降趋势更为明显。这提示在 MVPA 本就不达标的情况下, 即使等时长增加 MVPA 也难以弥补其减少给脊柱侧弯带来的危害, 特别是当 MVPA 减少 20~30 min 时脊柱侧弯的增加幅度显著加剧。考虑到初中生平均 MVPA 时间为 40.50 min, 这说明当 MVPA 时间极少(如每天仅 10 min 左右)时脊柱侧弯程度加剧的可能性较大。当 MVPA 时间严重不足时, 身体所获得的运动量无法达到肌肉与骨骼维持脊柱稳定性所需的刺激阈值。如此一来, 肌肉与骨骼难以发挥对脊柱稳定性的支撑作用, 更无法有效调节 SB 给脊柱带来的负面影响, 最终导致脊柱侧弯风险大幅上升。因而, 在预防初中生脊柱侧弯的实践层面要建立 MVPA 时长预警机制, 避免 MVPA 时长过低所造成的脊柱侧弯风险。

校内或校外 MVPA 模式分析结果显示, 与 MVPA 不活跃型初中生相比, MVPA 活跃型、校内 MVPA 活跃型和校外 MVPA 活跃型初中生脊柱侧弯程度均较低。这一结果提示, 尽管初中生在校内与校外的活动行为模式各具特征, 但 MVPA 对脊柱侧弯的矫正作用具有跨场域的普遍有效性。在校内场景中, 学生活动行为呈现出高度规律性特征, 如每节课 40 min 的久坐状态成为常态, 长时间且固定的坐姿极易对脊柱健康产生负面影响。而课间休息或体育课开展的 MVPA, 通过激活肌肉、纠正体态、增强骨骼等对脊柱侧弯起到直接矫正作用。反观校外环境, 学生活动自由度更高也更容易出现不良姿势, 如有研究证实屏幕时间与不良姿势之间存在较强相关性^[32]。在此情境下, 学生自由安排的 MVPA 仍能有效抵消不良姿势对脊柱侧弯的不利影响, 进一步印证 MVPA 在不同场域下的矫正效能。

综上所述, 本研究基于 24 h 活动行为的时间共变性视角尝试探讨 MVPA 对初中生脊柱侧弯所起到的保护作用。同时, 从校内或校外不同场域出发, 剖析不同场域下 MVPA 对初中生脊柱侧弯影响。该研究不仅丰富和拓展相关理论层面的探讨, 更提醒在初中生脊柱侧弯预防工作中, 要充分重视 MVPA 的重要价值, 发挥校内或校外 MVPA 的协同作用。

4 结论与建议

(1)活动强度维度: 初中生 MVPA 等时替代 LPA、SB 和 SP 可以显著降低脊柱侧弯程度, 因而要发挥 MVPA 在预防初中生脊柱侧弯的核心作用。教育部门需强化政策引导与监管, 督促落实“中小学生每天综合体育活动时间不低于 2 小时”的要求, 聚焦提升 MVPA 在体育活动总量中的占比。社区应联合体育机构, 以“多样化场地+趣味化活动”为抓手, 增设青少年友好型运动空间并开办主题训练营, 拓宽校外 MVPA 参与场景。家长需发挥家庭健康管理主体作用, 通过亲子运动、家庭体育日等形式, 引导孩子养成课后主动参与 MVPA 的习惯。通过“政策推动—社区支撑—家庭协同”的三级联动机制, 构建全场景覆盖的 MVPA 提升体系。

(2)时间管理维度: -30 min~30 min 等时替代模型预测变化结果显示, MVPA 与 LPA、SB、SP 在 30 min 内的相互替代呈现出不对称的脊柱侧弯变化曲线, 且 MVPA 减少 20~30 min 时脊柱侧弯增幅呈现加速上升趋势, 表明 MVPA 过低可能突破健康代偿阈值。针对这一情况, 需依托数字技术赋能青少年健康管理, 推广智能穿戴设备实时监测学生每日 MVPA 时长并设定

MVPA 最低阈值。当学生运动时长未达阈值时设备自动触发提醒功能,引导学生及时开展中高强度身体活动,形成动态化的自我管理机制。同时,重点聚焦MVPA 时长持续不达标的学生群体,通过学校开设多样化体育兴趣课程、家长参与亲子运动等方式,激发其体育锻炼兴趣,逐步培养规律运动习惯,实现“监测—提醒—干预”的闭环管理,有效提升学生整体MVPA 水平。

(3)实施场域维度: MVPA 校内或校外活跃型初中生的脊柱侧弯程度均较低,因而应重视校内或校外不同场域对于预防脊柱侧弯的作用,构建协同联动的脊柱侧弯防治体系。在该体系中教育部门牵头制定脊柱侧弯防控标准与指导意见,为各方协作提供依据。学校与家庭通过家校平台实现学生运动数据与脊柱健康状况的实时共享,基于数据共同制定个性化干预方案,形成校内课程训练与家庭日常监督的双向配合。同时,社区与学校建立场地资源共享机制,社区开放公共运动场地、联合体育机构开办脊柱健康主题训练营,为学生课后运动提供专业指导与支持,弥补校内运动时间与资源的不足。通过教育部门统筹、家校社资源整合与信息互通,打造覆盖校内校外、贯穿家庭与社会的闭环式协同防治网络,切实保障初中生脊柱健康。

参考文献:

- [1] 中国儿童中心. 中国儿童发展报告(2022)[R]. 北京: 社会科学文献出版社, 2022.
- [2] 顾昉, 徐韵涵, 高雷, 等. 2021年浙江省中小学生学习脊柱侧弯现状及影响因素分析[J]. 疾病监测, 2024, 39(7): 914-918.
- [3] 黄坤, 李秀红, 吴嘉琦, 等. 户外活动时间与中小学生学习脊柱侧弯的关系[J]. 中国儿童保健杂志, 2024, 32(11): 1190-1195.
- [4] TOBIAS J H, FAIRBANK J, HARDING I, et al. Association between physical activity and scoliosis: A prospective cohort study[J]. *International Journal of Epidemiology*, 2019, 48(4): 1152-1160.
- [5] NEWMAN M, HANNINK E, BARKER K L. Associations between physical activity and adolescent idiopathic scoliosis: A systematic review and meta-analysis[J]. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2023, 104(8): 1314-1330.
- [6] CHEN Y, ZHANG Z, ZHU Q. The effect of an exercise intervention on adolescent idiopathic scoliosis: A network meta-analysis[J]. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 2023, 18(1): 655.
- [7] MCMASTER M E, LEE A J, BURWELL R G. Physical activities of patients with adolescent idiopathic scoliosis: Preliminary longitudinal case-control study historical evaluation of possible risk factors[J]. *Scoliosis*, 2015, 10: 6.
- [8] WATANABE K, MICHIKAWA T, YONEZAWA I, et al. Physical activities and lifestyle factors related to adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 2017, 99(4): 284-294.
- [9] TANCHEV P I, DZHEROV A D, PARUSHEV A D, et al. Scoliosis in rhythmic gymnasts[J]. *Spine*, 2000, 25(11): 1367-1372.
- [10] CHAYES F. On correlation between variables of constant sum[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1960, 65(12): 4185-4193.
- [11] CARSON V, TREMBLAY M S, CHAPUT J P, et al. Associations between sleep duration, sedentary time, physical activity, and health indicators among Canadian children and youth using compositional analyses[J]. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 2016, 41(6Suppl3): 294-302.
- [12] 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.
- [13] 尹龙, 李芳, 杨宗宇, 等. 24 h 活动行为与 4~6 岁儿童执行功能: 基于具身认知的成分等时替代分析[J]. *武汉体育学院学报*, 2024, 58(5): 73-80.
- [14] 胥祉涵, 王世强, 余澳林, 等. 24 小时活动行为对学龄前儿童执行功能影响的成分等时替代效益研究[J]. *体育学刊*, 2024, 31(2): 148-154.
- [15] CHASTIN S F, 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): 1-37.
- [16] MIN J, CAO Z, DUAN T, et al. Accelerometer-derived 'weekend warrior' physical activity pattern and brain health[J]. *Nature Aging*, 2024, 4(10): 1394-1402.
- [17] TROST S G, PATE R R, FREEDSON P S, et al. 2000. Using objective physical activity measures with youth: How many days of monitoring are needed?[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2000, 32(2): 426-431.
- [18] EVENSON K R, CATELLIER D J, GILL K, et al. Calibration of two objective measures of physical activity for children[J]. *Journal of Sports Science*, 2008, 26(14): 1557-1565.
- [19] DUMUID D, WAKE M, CLIFFORD S, et al. The

association of the body composition of children with 24-hour activity composition[J]. *The Journal of Pediatrics*, 2019, 208: 43-49.

[20] FAIRCLOUGH S J, DUMUID D, TAYLOR S, et al. Fitness, fatness and the reallocation of time between children's daily movement behaviours: An analysis of compositional data[J]. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 2017, 14(1): 64-78.

[21] 吴春丽, 李东方, 张晓辉. 郑州市儿童青少年脊柱侧弯现状及影响因素[J]. *华南预防医学*, 2021, 47(5): 673-675.

[22] 亓德云, 李丽平, 江艳微, 等. 上海市虹口区儿童青少年脊柱弯曲异常现状及影响因素分析[J]. *中国学校卫生*, 2021, 42(3): 444-447+453.

[23] ZHENG Y, DANG Y N, WU X J, et al. Epidemiological study of adolescent idiopathic scoliosis in Eastern China[J]. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 2017, 49(6): 512-519.

[24] LIANG Z T, GUO C F, LI J, et al. The role of endocrine hormones in the pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis[J]. *The FASEB Journal*, 2021, 35(9): e21839.

[25] 孙艺, 刘伟佳, 熊莉华, 等. 广州市中学生脊柱侧弯现状及影响因素分析[J]. *中国学校卫生*, 2021, 42(12): 1867-1870.

[26] CAI Z, WU R, ZHENG S, et al. Morphology and epidemiological study of idiopathic scoliosis among primary school students in Chaozhou, China[J]. *Environmental*

Health and Preventive Medicine, 2020, 26(1): 71.

[27] PENG Y, WANG S R, QIU G X, et al, 2020. Research progress on the etiology and pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Chinese Medical Journal*, 133(4): 483-493.

[28] SONG X X, JIN L Y, LI X F, et al. Effects of low bone mineral status on biomechanical characteristics in idiopathic scoliotic spinal deformity[J]. *World Neurosurgery*, 2018, 110: e321-e329.

[29] HUI S, LAU R, CHENG J, et al. High-impact weight-bearing home exercises in girls with adolescent idiopathic scoliosis: A pilot study (abridged secondary publication)[J]. *Hong Kong Medical Journal*, 2022, 28(3): 31-33.

[30] DUPLANTY A A, LEVITT D E, HILL D W, et al. Resistance training is associated with higher bone mineral density among young adult male distance runners independent of physiological factors[J]. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 2018, 32(6): 1594-1600.

[31] HU Y, CHEN J, WANG R, et al. Vitamin D nutritional status and its related factors for Chinese children and adolescents in 2010—2012[J]. *Nutrients*, 2017, 9(9): 1024.

[32] 王富百慧, 李雅倩, 郭晓丹, 等. 久坐时间、身体活动与青少年身体姿态异常[J]. *中国青年研究*, 2021, 33(6): 5-12.

