

静坐时长和体力活动与男性精子质量的关联研究

曾思漩¹, 杨婷婷^{2,3}, 李福平^{2,3}, 田润¹, 张璐¹, 付鹏波¹, 符乐瑶¹, 宋贵双¹, 廖俊豪¹, 于川¹, 肖成汉¹, 刘振谧¹

1. 四川大学华西公共卫生学院 / 华西第四医院, 四川 成都 610041; 2. 四川大学华西第二医院生殖男科 / 四川省人类精子库;
3. 西部妇幼研究院出生缺陷与相关妇科疾病教育部重点实验室

摘要: **目的** 探究静坐时长和体力活动与男性精子质量之间的关联。**方法** 基于来自四川省人类精子库的 1 578 份精液样本, 采用调整线性回归模型和限制性立方样条分析每日静坐时长、每周体力活动量、体力活动水平与常规精液指标和精子动力学指标的线性与非线性关联。**结果** 每日静坐时长和每周体力活动量与前向精子、不运动精子、总活力等呈显著非线性关联($P < 0.05$); 每周体力活动量还与平均曲线速度、平均路径速度、平均直线速度和平均鞭打频率等呈显著非线性关联($P < 0.05$); 相较于低水平组, 中、高体力活动水平组的前向精子[% Change(95%CI): 4.302(1.691 ~ 6.979)、2.816(0.227 ~ 5.472)], 总活力[% Change(95%CI): 3.624(1.227 ~ 6.079)、2.567(0.179 ~ 5.012)], 平均曲线速度[% Change(95%CI): 6.600(3.021 ~ 10.304)、3.958(0.446 ~ 7.594)], 平均路径速度[% Change(95%CI): 6.529(2.987 ~ 10.193)、4.012(0.532 ~ 7.613)], 平均直线速度[% Change(95%CI): 5.992(2.049 ~ 10.087)、4.221(0.319 ~ 8.274)]等指标有显著提升, 尤其中体力活动水平组有更明显的改善。**结论** 每日静坐时长过少或过长均是男性精子质量的风险因素, 静坐时长过少可能潜在危害更大, 保持规律适度的体力活动则有益于改善精子质量。

关键词: 静坐时长; 体力活动; 精子质量; 横断面研究

中图分类号: R169.1; R698.2; R321.1 文献标志码: A 文章编号: 1003-8507(2025)05-786-10

DOI: 10.20043/j.cnki.MPM.202411243

Research on the association between sedentary duration, physical activity, and male sperm quality

ZENG Si-xuan*, YANG Ting-ting, LI Fu-ping, TIAN Run, ZHANG Lu, FU Peng-bo, FU Le-yao, SONG Gui-shuang, LIAO Jun-hao, YU Chuan, XIAO Cheng-han, LIU Zhen-mi

*West China School of Public Health / West China Fourth Hospital, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610041, China

Abstract: Objective To investigate the association between sedentary duration, physical activity, and male sperm quality.

Methods Based on 1 578 semen samples from the Sichuan Human Sperm Bank, a linear regression model and restricted cubic spline analysis were employed to examine the linear and nonlinear associations of daily sedentary duration, weekly physical activity volume, and physical activity level with conventional semen parameters and sperm kinetic parameters.

Results Daily sedentary duration and weekly physical activity volume showed significant nonlinear associations with forward motility, immotility, and total motility ($P < 0.05$). Additionally, weekly physical activity volume was significantly nonlinearly associated with average curvilinear velocity, average path velocity, average straight-line velocity, and average flagellar beat frequency ($P < 0.05$). Compared to the low activity group, the moderate and high activity groups had significant improvements in forward motility [% Change (95%CI): 4.302 (1.691-6.979), 2.816 (0.227-5.472)], total motility [% Change (95%CI): 3.624 (1.227-6.079), 2.567 (0.179-5.012)], average curvilinear velocity [% Change (95%CI): 6.600 (3.021-10.304), 3.958 (0.446-7.594)], average path velocity [% Change (95%CI): 6.529 (2.987-10.193), 4.012 (0.532-7.613)], and average straight-line velocity [% Change (95%CI): 5.992 (2.049-10.087), 4.221 (0.319-8.274)], with the moderate activity group showing more pronounced improvements. **Conclusion** Both insufficient and excessive daily sedentary duration are risk factors for male sperm quality, with insufficient sedentary duration potentially posing greater harm. Maintaining regular and moderate physical activity is beneficial for improving sperm quality.

Keywords: Sedentary duration; Physical activity; Sperm quality; Cross-sectional study

精子质量被认为是决定男性生育力的关键因素,

目前全球精子质量普遍呈下降趋势。一项纳入 53 个国家精液样本的荟萃研究发现^[1], 1973—2018 年全球非不育男性的平均精子数和精子浓度下降超过 50%。中华医学会生殖医学分会报告了 2008—2018 年中国七省精子库捐精者的精液体积、精子总数、前

基金项目: 国家自然科学基金区域创新发展联合基金(U23A202600)

作者简介: 曾思漩(2000—), 女, 硕士在读, 研究方向: 儿少卫生与妇幼保健, 生殖健康

通信作者: 刘振谧, E-mail: zhenmiliu@scu.edu.cn

向精子等均随时间呈下降趋势^[2]。大量研究已证明遗传、生活习惯、环境、职业暴露等因素共同作用于精子形成和其质量^[3-7],其中合理的生活习惯是健康效益良好的可干预因素。研究表明,久坐可能激发睾丸热应激、破坏精子核 DNA 完整性^[8];积极进行体力活动可能有助于调节生精细胞中的氧化应激从而形成有利于精子生成的微环境^[9-10]。然而,目前对于静坐与体力活动是否影响精子质量仍存在争论。现有关于精子质量的流行病学研究主要基于精液量、精子浓度等常规精液指标^[5,11],而对影响精子动态特性的研究有限。精子动力学参数是对精子的微观动态特性进行精准定量分析的主要指标,现有证据发现精子动态指标可能更灵敏地反映精子与卵细胞融合能力^[12-17]。因此,同时考量常规精液指标和精子动态指标可以更准确客观的反映精子质量,提升研究结论可信度。

因此,本横断面研究选取来自四川省人类精子库(Sichuan Provincial Human Sperm Bank, SHSB)的 1 578 名捐精志愿者为研究对象,以每日静坐时长和体力活动相关变量为暴露因素,常规精液指标和精子动态指标为精子质量结局参数,探讨其潜在的线性和非线性关联,为保护和改善男性生殖健康、确保人类生育力可持续性的干预政策制定提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象 本文研究对象来自于在 2019 年 10 月—2021 年 12 月由四川省人类精子库(SHSB)招募的成年男性捐精者。纳入标准:18~45 岁;无传染性疾病;无遗传疾病和家族史;禁欲期 2~7 d。排除标准:存在生殖系统疾病及疾病史或相关手术史;问卷信息不完整。最终本次分析纳入 1 578 名符合条件的受试者。本研究获得了四川大学伦理审查委员会(WCSUH-SCU IRB, 2019-076)的批准,所有参与者在参与研究前均已被告知所获风险或受益并签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 暴露指标测量 在精液样本采集前通过国际体力活动问卷(International Physical Activity Questionnaire, IPAQ)收集研究对象的每周体力活动量(MET-min/w)、不同类型体力活动量(MET-min/w)、每日静坐时长(min/d)、体力活动水平(低、中、高)。IPAQ 是一个由国际体力活动工作组制定的受国际认可并广泛使用的成人体力活动评估工具,其中文版已在我国捐精人群和其他人群研究中验证了良好信效度^[18-19]。IPAQ 短卷由 7 个题目组成,体力活动强度采用代谢当量(metabolic equivalent tasks, METs)进行量化,每周体力活动量为步行、中等和剧

烈强度体力活动量之和,分级参照《国际体力活动问卷中体力活动水平的计算方法》^[19]中的“个体体力活动水平分组标准”结合代谢当量和活动频率将体力活动水平划分为低、中和高三组。62 名研究对象在间隔 1 个月内再次完成问卷,结果显示各类体力活动量和静坐时间的组内相关系数(ICC)为 0.750~0.822,表明较好重测信度。通过比较低、中和高体力活动组的各类体力活动量和静坐时间的差异性来评价区分效度,经 Kruskal-Wallis *H* 检验和事后检验结果显示各项差异有统计学差异($P<0.05$),表明该量表的良好区分效度。

1.2.2 精液收集与检测 所有参与者在精液采集前 2~7 d 禁欲,采精时通过手淫将精液样本收集到无菌聚丙烯容器中并立即交由专业技术人员储存在 37℃ 的恒温容器中,并在 1 h 内使用来自北京穗佳软件有限公司生产的计算机辅助精液分析设备(computer assisted semen analysis, CASA)对样本进行分析。精液处理和检测过程以及质量保证/质量控制(QA/QC)程序均由培训合格的专业技术人员严格遵循《WHO 人类精液检查与处理实验室手册》^[20]。

本研究的结局指标包含:(1)常规精液指标:精液体积(ml)、精子总数(10^6)、精子浓度($10^6/ml$)、前向运动精子百分率(progressive motility, PM, %)、不运动精子百分率(immotility, IM, %)和精子总活力(total motility, TM, %);(2)精子动力学指标:平均曲线速度(VCL, $\mu m/s$)、平均路径速度(VAP, $\mu m/s$)、平均直线速度(VSL, $\mu m/s$)、线性度(LIN, %)、前向性(STR, %)、摆动性(WOB, %)、平均侧摆幅度(ALH, μm)和平均鞭打频率(BCF, Hz)。

1.2.3 协变量收集 (1)人口统计学变量:通过结构化问卷收集年龄、民族、身体质量指数(body mass index, BMI)、受教育程度、婚姻状况、致孕史。(2)自我报告饮酒和吸烟习惯。(3)通过医院焦虑/抑郁量表^[20](hospital anxiety and depression scale, HADS-A/D)反映焦虑/抑郁状况(Cronbach $\alpha=0.705\sim 0.846$),每部分得分范围 0~21 分,得分越高表示焦虑或抑郁症状越严重。(4)匹兹堡睡眠质量指数^[21](Pittsburgh sleep quality index, PSQI)评估睡眠质量(Cronbach $\alpha=0.805$),指数范围为 0~21,得分越高表示睡眠质量越差。(5)自我报告禁欲天数。(6)精液采集季节:春(3—5 月)、夏(6—8 月)、秋(9—11 月)和冬(12—次年 2 月)。

1.2.4 统计分析 采用 4.4.0 版 R 软件进行分析,正态分布计量资料描述采用($\bar{x}\pm s$),非正态分布计量资料描述采用 $[M(P_{25}, P_{75})]$;计数资料描述使用频数(n)和百分比(%)。建立分析模型之前:(1)将暴露变量进行标准化转换使不同量纲特征具有相同尺度;

(2)经 Kolmogorov-Smirnov 检验后结局参数均呈偏态分布,将结局变量进行自然对数(ln)转换;(3)为了避免存在多重共线性,检验了协变量的方差膨胀因子(variance inflation factor, VIF)均小于 4。然后建立调整了混杂因素的线性回归模型以评估每日静坐时长、体力活动与精子质量参数之间的线性关系,用 $100 \times [\exp(\beta)-1]$ 反映因变量的变化百分比(%Change)。利用协变量调整后的限制性立方样条(restricted cubic spline, RCS)来探索潜在非线性关系,结合样本量大小以及贝叶斯信息准则(Bayesian information criterion, BIC),评估 RCS 节点数为 4 时拟合效果最佳,因此 RCS 设置 4 个节点时(第 5、35、65 和 95 百分位数)为主要分析,5 个节点时(第 5、27.5、50、72.5 和 95 百分位数)为敏感性分析。

所有统计检验均为双侧检验, Benjamini & Hochberg 法用于校正多重比较的 P 值^[2], 调整后的 $P < 0.05$ 表示统计显著性。

2 结果

2.1 研究人群基本特征及暴露分布 本研究纳入 1 578 名研究对象的基本特征。研究人群的平均年龄为 (24.94 ± 4.71) 岁;大部分研究对象为汉族、未婚、无致孕史,本科及以上占比 56.8%;研究人群的 BMI 平均值为 (22.09 ± 2.32) kg/m²。58.4%和 73.2%的参与者无饮酒和吸烟习惯。研究对象特征见表 1。表 2 描述了本研究人群的暴露指标分布特征。研究人群每日静坐时长、每周体力活动量为 360.0(240.0, 483.0)min/d、2 079.0(999.9, 3 564.0)MET-min/w;大部分研究对象为中体力活动水平和高体力水平,分别占 43.7%和 38.8%。

表 1 研究人群的基本特征

特征变量	($\bar{x} \pm s$)/[n(%)]
年龄(岁)	24.94 ± 4.71
20 ~ 21	425(26.9)
22 ~ 24	504(31.9)
25 ~ 44	649(41.2)
民族	
汉	1 496(94.8)
其他	82(5.2)
教育水平	
本科以下	682(43.2)
本科及以上	896(56.8)
婚姻情况	
未婚	1 348 (85.4)
已婚或离异	230 (14.6)
是否存在致孕史	
否	1 319(83.6)
是	259(16.4)
BMI(kg/m ²)	22.09 ± 2.32
标准(18.5 ~ 23.9)	1 254(79.5)

(续表)

特征变量	($\bar{x} \pm s$)/[n(%)]
偏瘦(<18.5)	105(6.7)
超重或肥胖(≥24)	219(13.8)
饮酒习惯	
从不饮酒	921(58.4)
饮酒	657(41.6)
抽烟习惯	
从不抽烟	1 156(73.2)
抽烟	422(26.8)
HADS-A 得分	2.53 ± 2.08
HADS-D 得分	2.41 ± 2.52
PSQI 得分	3.43 ± 2.16
禁欲期(d)	4.62 ± 1.19
样本采集季节	
春	371(23.5)
夏	727(46.1)
秋	273(17.3)
冬	207(13.1)

表 2 研究人群的暴露指标分布

Table 2 Distribution of exposure indicators in the study

暴露变量	M(P_{25}, P_{75})/n(%)
每日静坐时长(min/d)	360.0 (240.0, 483.0)
每周体力活动量(MET-min/w)	2 079.0 (999.9, 3 564.0)
步行	792.0 (396.0, 1 386.0)
中等	240.0 (103.0, 600.0)
剧烈	480.0 (187.0, 1 440.0)
体力活动水平分级	
低	277(17.5)
中	689(43.7)
高	612(38.8)

2.2 每日静坐时长对精子质量的影响

2.2.1 每日静坐时长与常规精液指标的关联 如表 3 所示,每日静坐时长与常规精液指标之间无显著线性关联($P > 0.05$)。图 1 显示每日静坐时长与精子浓度($P = 0.016$)、PM($P = 0.007$)、IM($P = 0.015$)和 TM($P < 0.001$)的非线性关联显著。其中精子浓度、PM、TM 随时间呈倒“U”型变化,曲线从最低点逐渐上升,分别在静坐时长约为 272.75、331.14 和 310.29 min/d 时到达顶点,然后缓慢下降至平缓趋势;IM 呈“U”型变化,该曲线从最高点逐渐下降而后在静坐时长约为 314.46 min/d 时出现拐点。

2.2.2 每日静坐时长与精子动力学指标的关联 如表 4 所示,每日静坐时长与精子动力学指标之间无显著线性关联($P > 0.05$)。图 2 显示每日静坐时长与 BCF($P = 0.007$)之间存在倒“U”型的显著非线性关系,曲线先上升在静坐时长约为 293.60 min/d 时到达顶

点,然后缓慢下降趋于平缓。

表 3 静坐时长和体力活动与常规精液指标的线性回归模型结果

Table 3 Results of linear models of sedentary hours and physical activity with conventional semen indicators

暴露变量	% Change (95%CI)					
	精液量(ml)	精子总数(10 ⁶)	精子浓度(10 ⁶ /ml)	PM(%)	IM(%)	TM(%)
每日静坐时长 (min/d)	0.177(-1.753 ~ 2.145)	-2.695(-6.066 ~ 0.798)	-2.867(-5.900 ~ 0.264)	0.270(-0.612 ~ 1.160)	-0.428(-2.416 ~ 1.601)	0.198(-0.616 ~ 1.019)
每周体力活动量 (MET-min/w)	-0.577(-2.487 ~ 1.372)	-1.105(-4.526 ~ 2.438)	-0.532(-3.634 ~ 2.671)	-0.192(-1.069 ~ 0.692)	0.264(-1.734 ~ 2.302)	0.015(-0.796 ~ 0.832)
步行	0.155(-1.749 ~ 2.094)	0.515(-2.923 ~ 4.075)	0.360(-2.735 ~ 3.553)	-0.602(-1.464 ~ 0.268)	0.326(-1.650 ~ 2.342)	-0.325(-1.123 ~ 0.481)
中等	1.772(-0.170 ~ 3.752)	0.585(-2.874 ~ 4.167)	-1.167(-4.230 ~ 1.995)	0.317(-0.558 ~ 1.200)	-0.661(-2.628 ~ 1.346)	0.401(-0.408 ~ 1.216)
剧烈	-1.655(-3.544 ~ 0.270)	-2.136(-5.520 ~ 1.369)	-0.489(-3.592 ~ 2.715)	-0.026(-0.903 ~ 0.860)	0.454(-1.548 ~ 2.496)	0.056(-0.755 ~ 0.874)
体力活动水平分级						
低	参考值	参考值	参考值	参考值	参考值	参考值
中	6.103(0.342 ~ 12.194)*	9.218(-1.310 ~ 20.869)	2.936(-6.050 ~ 12.782)	4.302(1.691 ~ 6.979)**	-7.512(-12.715 ~ -1.998)*	3.624(1.227 ~ 6.079)**
高	0.600(-4.896 ~ 6.414)	1.265(-8.556 ~ 12.140)	0.661(-8.181 ~ 10.353)	2.816(0.227 ~ 5.472)*	-5.387(-10.743 ~ 0.290)	2.567(0.179 ~ 5.012)*

注:PM 为前向运动精子百分率;IM 为不运动精子百分率;TM 为精子总活力;*B.H.校正后的 P 值<0.05;**B.H.校正后的 P 值<0.01;***B.H.校正后的 P 值<0.001。

表 4 静坐时长和体力活动与精子动力学指标的线性回归模型结果

Table 4 Results of linear models of sedentary hours and physical activity with sperm kinematic indicators

暴露变量	% Change (95%CI)							
	VCL(μm/s)	VAP(μm/s)	VSL(μm/s)	LIN(%)	STR(%)	WOB(%)	ALH(μm)	BCF(Hz)
每日静坐时长 (min/d)	0.654(-0.538 ~ 1.861)	0.642(-0.539 ~ 1.837)	0.753(-0.569 ~ 2.092)	0.098(-0.637 ~ 0.838)	0.110(-0.313 ~ 0.535)	-0.012(-0.387 ~ 0.365)	0.271(-0.993 ~ 1.552)	-0.124(-1.012 ~ 0.772)
每周体力活动量 (MET-min/w)	0.078(-1.106 ~ 1.275)	0.026(-1.145 ~ 1.211)	0.156(-1.156 ~ 1.485)	0.078(-0.655 ~ 0.817)	0.130(-0.292 ~ 0.554)	-0.052(-0.426 ~ 0.324)	-0.587(-1.837 ~ 0.680)	0.052(-0.836 ~ 0.947)
步行	-0.573(-1.735 ~ 0.603)	-0.656(-1.805 ~ 0.507)	-0.482(-1.770 ~ 0.824)	0.092(-0.633 ~ 0.822)	0.175(-0.242 ~ 0.595)	-0.083(-0.453 ~ 0.288)	-0.771(-2.005 ~ 0.478)	-0.349(-1.223 ~ 0.532)
中等	0.246(-0.932 ~ 1.438)	-0.010(-1.174 ~ 1.167)	-0.179(-1.479 ~ 1.137)	-0.424(-1.149 ~ 0.306)	-0.169(-0.588 ~ 0.251)	-0.256(-0.627 ~ 0.117)	0.450(-0.806 ~ 1.722)	0.136(-0.746 ~ 1.027)
剧烈	0.370(-0.817 ~ 1.571)	0.459(-0.717 ~ 1.649)	0.605(-0.712 ~ 1.940)	0.234(-0.500 ~ 0.974)	0.145(-0.277 ~ 0.570)	0.089(-0.286 ~ 0.465)	-0.535(-1.786 ~ 0.732)	0.237(-0.652 ~ 1.134)
体力活动水平分级								
低	参考值	参考值	参考值	参考值	参考值	参考值	参考值	参考值
中	6.600(3.021 ~ 10.304)**	6.529(2.987 ~ 10.193)**	5.992(2.049 ~ 10.087)**	-0.571(-2.656 ~ 1.559)	-0.504(-1.709 ~ 0.715)	-0.067(-1.142 ~ 1.020)	5.948(2.163 ~ 9.874)**	2.583(-0.016 ~ 5.249)
高	3.958(0.446 ~ 7.594)*	4.012(0.532 ~ 7.613)*	4.221(0.319 ~ 8.274)*	0.252(-1.863 ~ 2.413)	0.201(-1.021 ~ 1.437)	0.052(-1.032 ~ 1.147)	2.717(-0.976 ~ 6.548)	2.036(-0.565 ~ 4.705)

注:VCL 为平均曲线速度;VAP 为平均路径速度;VSL 为平均直线速度;LIN 为线性度;STR 为前向性;WOB 为摆动性;ALH 为平均侧摆幅度;BCF 为平均鞭打频率;*B.H.校正后的 P 值<0.05;**B.H.校正后的 P 值<0.01;***B.H.校正后的 P 值<0.001。

2.3 体力活动对精子质量的影响

2.3.1 每周体力活动量与常规精液指标之间的关联

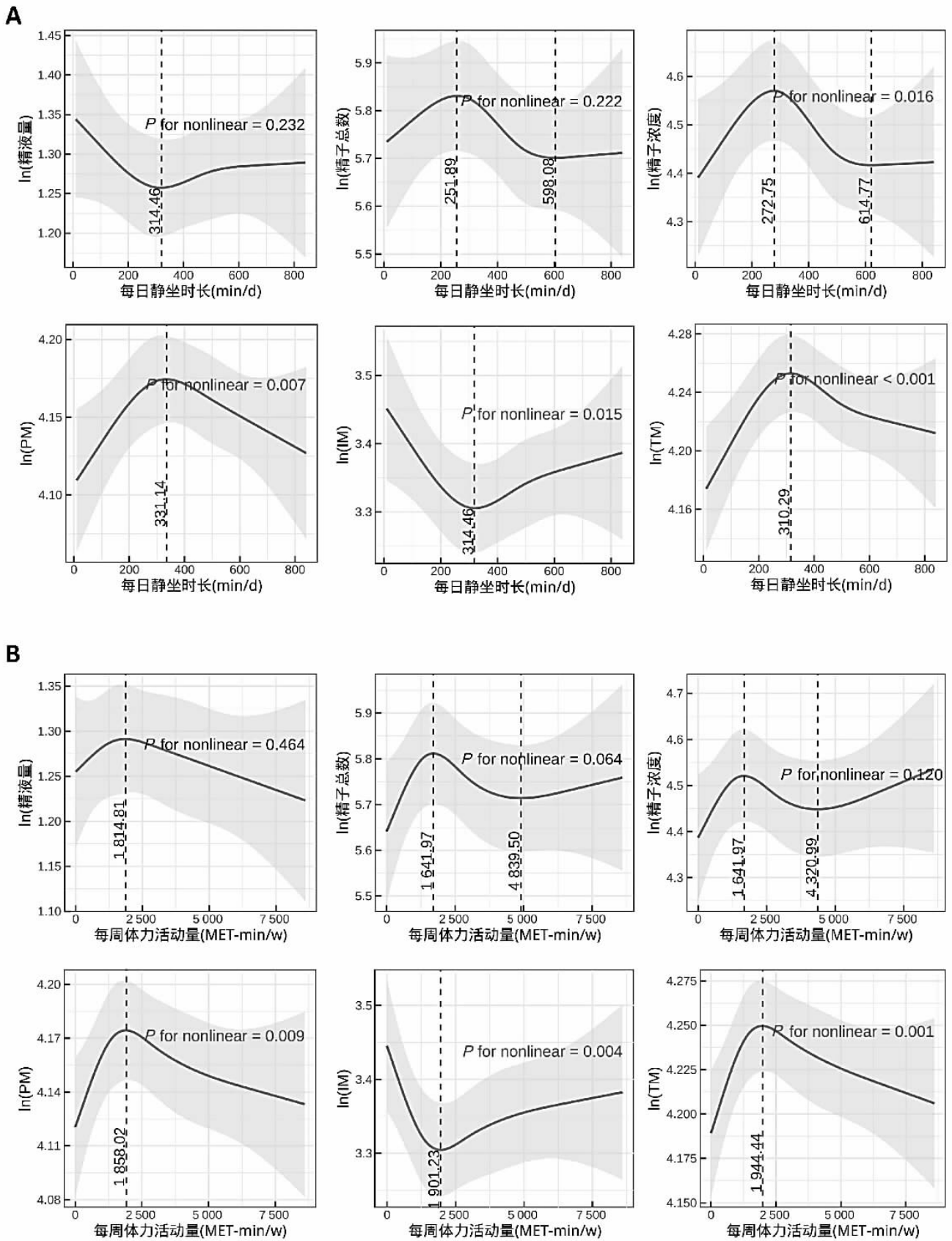


图 1 每日静坐时长(A)和每周体力活动量(B)与常规精液指标对数值的 RCS 结果(节点数=4)

Figure 1 Results of RCS (knots=4) of daily sedentary time (A) and weekly physical activity (B) with ln-transformed conventional semen indicators

如表 3 所示,每周体力活动量和不同类型体力活动量均与与常规精液指标无显著线性关联($P>0.05$)。由

图 1 观察到每周体力活动量与 PM ($P=0.009$) 和 TM ($P=0.001$)之间呈现倒“J”型的显著非线性关系,曲线

拐点约为 1 858.02 MET-min/w 和 1 944.44 MET-min/w;与 IM($P=0.004$)呈现“J”型显著非线性关

系,曲线拐点约为 1 901.23 MET-min/w。

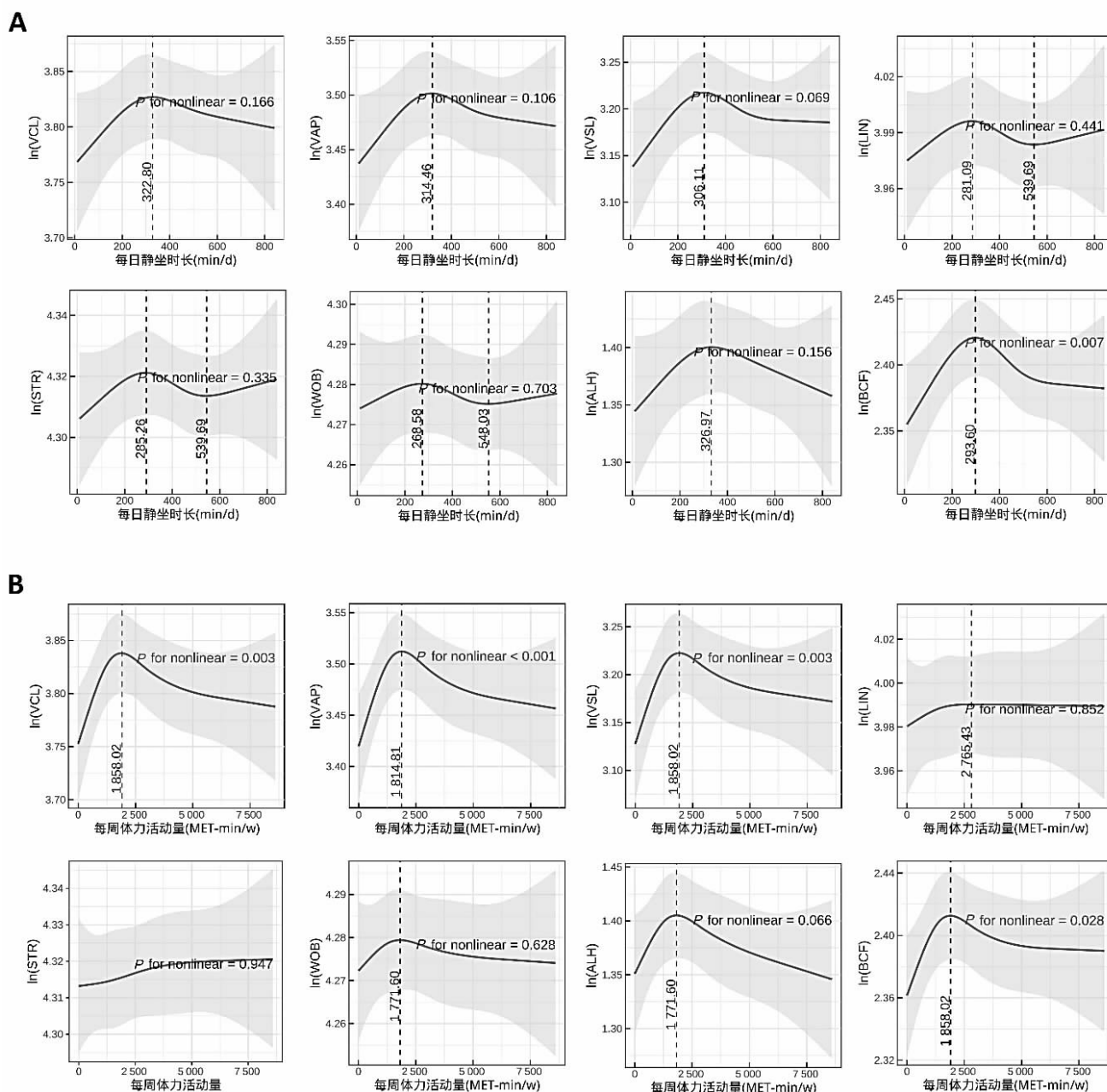


图 2 每日静坐时长(A)和每周体力活动量(B)与精子动力学指标对数值的 RCS 结果(节点数=4)

Figure 2 Results of RCS (knots=4) of daily sedentary time (A) and weekly physical activity (B) with ln-transformed sperm kinematic indicators

2.3.2 每周体力活动量与精子动力学指标之间的关联 如表 4 所示,每周体力活动量和不同类型体力活动量均与与精子动力学指标无显著线性关联 ($P>0.05$)。由图 2 观察到每周体力活动量与 VCL ($P=0.003$)、VAP ($P<0.001$)、VSL ($P=0.003$) 和 BCF ($P=0.028$)呈现倒“J”型的显著非线性关系,以上除了 VAP 对应曲线拐点约为 1 814.81 MET-min/w,其他拐点大约为 1 858.02 MET-min/w。

2.3.3 体力活动水平分级与常规精液指标之间的

关联 如表 3 所示,相较于低水平组,中体力活动水平组的精液量、PM 和 TM[% Change(95%CI):6.103 (0.342 ~ 12.194)、4.302 (1.691 ~ 6.979)、3.624(1.227 ~ 6.079)]均显著增加,IM[% Change(95%CI):-7.512 (-12.715 ~ -1.998)]显著降低;相较于低水平组,高水平组的 PM 和 TM[% Change(95%CI):2.816(0.227 ~ 5.472)、2.567(0.179 ~ 5.012)]显著增加。

2.3.4 体力活动水平分级与精子动力学指标之间的关联 如表 4 所示,相较于低水平组,中、高体力活动

水平组的 VCL [% Change (95%CI):6.600 (3.021 ~ 10.304)、3.958(0.446 ~ 7.594)]、VAP[% Change(95% CI):6.529 (2.987 ~ 10.193)、4.012 (0.532 ~ 7.613)]、VSL[% Change(95%CI):5.992(2.049 ~ 10.087)、4.221 (0.319 ~ 8.274)]均显著增加,并且相较于低水平组,中水平组的 ALH[% Change(95%CI):5.948(2.163 ~ 9.874)]也显著增加。

2.4 敏感性分析结果 如图 3、4 所示,当 RCS 节点数为 5 时,每日静坐时长与精子浓度、PM、IM、TM 以及 BCF 具有显著非线性关系($P < 0.05$),每周体力活动量与 PM、IM、TM 以及 VCL、VAP、VSL 具有显著非线性关系($P < 0.05$),结果显示非线性关系具有稳健性。

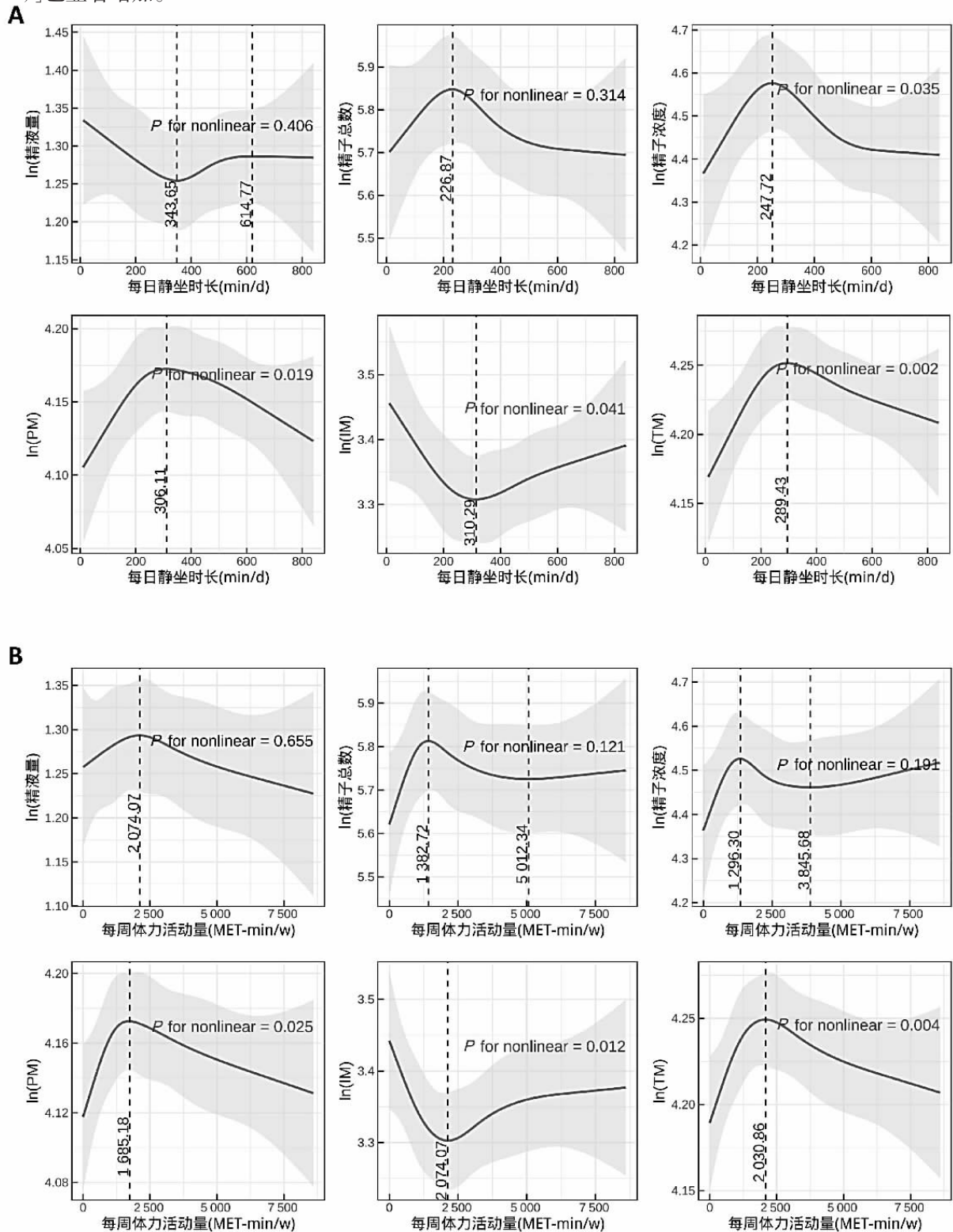


图 3 每日静坐时长(A)和每周体力活动量(B)与常规精液指标对数值的 RCS 结果(节点数=5)

Figure 3 Results of RCS (knots=5) of daily sedentary time (A) and weekly physical activity (B) with ln-transformed conventional semen indicators

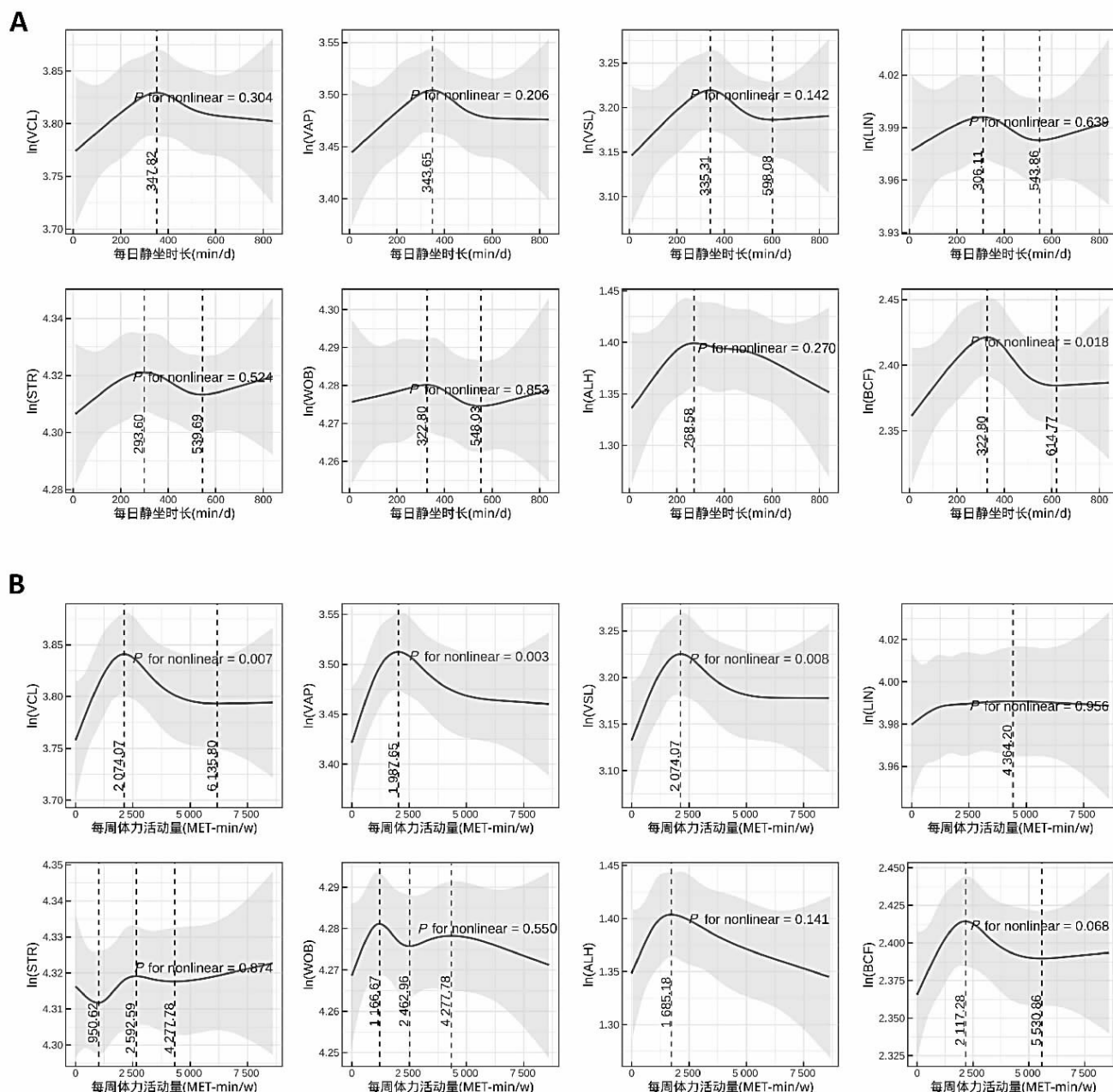


图 4 每日静坐时长(A)和每周体力活动量(B)与精子动力学指标对数值的 RCS 结果(节点数 = 5)

Figure 4 Results of RCS (knots=5) of daily sedentary time (A) and weekly physical activity (B) with ln-transformed sperm kinematic indicators

3 讨论

本研究对 1 578 名成年男性的精液样本进行横断面分析,发现尽管精子浓度、PM、TM 及 BCF 会随着静坐时间超过约 4.5 ~ 5.5 h 后降低,但每日静坐时长过少相比于时间过长似乎更可能成为影响精子质量的危险因素。一项横断面研究表明静坐时长超过 8 h 后前向精子率显著下降^[23];而一项来自湖北省精子库的研究发现久坐时长与精液质量无显著关联^[18]。这可能与数据结构、混杂调整和统计方法差异有关。关于其机制,有研究认为久坐影响睾丸血液循环和散热,阻碍精子染色质重塑而破坏精子核 DNA 完整性^[8]。

目前研究仍缺乏对每日静坐时长过少造成男性生殖危害的阐述,而我们发现每日静坐时长过少同样可能严重危害精子质量,这可能是静坐时间过少的男性群体多为低收入体力劳动工作者、社会经济地位不高、受教育程度有限等潜在因素造成的精子质量下降。

本研究还发现,每周体力活动量超过适当限度不仅影响常规精液指标,VAP、BCF 等动力学指标均随之呈现下降趋势,这提示每周体力活动量过大会使精子微细运动能力减弱从而影响精子活力。相比低体力活动水平,中水平组的常规精液、精子动力学整体水平平均明显提升,且高水平组对应指标变化值均低于中

水平组。这表明应同时考虑活动适度性与规律性,最大化提高生殖健康效益。一项随机对照试验荟萃分析表明^[9],身体活动与精液参数改善显著相关;另一项纳入 32 篇研究的荟萃分析发现^[10],日常休闲性体力活动可以对精液浓度或前向运动能力产生积极影响,而职业运动性体力活动可能会其产生不利影响,同时指出这些纳入研究对体力活动的判断标准不统一而造成明显异质性。对于其关联机制,研究认为规律体力活动可防止活性氧产生而高负荷运动使睾丸抗氧化体系失衡或阴囊调节温度功能失调而造成精子生成受损^[24-25],但仍需要进一步研究充分探讨其潜在机制,并且后续研究有必要继续探索有利于维护生育力的活动种类、时长和占比,为做出有效的临床生活方式干预、生育保健管理决策提供充分依据。

这项研究的优势在于对精子质量的考量同时依赖于常规的精液指标以及反映精子微观动态特性的动力学指标,这为该研究假设提供了更加充分有力的依据。此外,我们调整了许多可能混淆关联的协变量从而提高模型解释力。本研究也存在一些局限性:横断面研究无法明确因果关系;暴露信息是通过自我报告获得的,无法避免回忆偏倚和错误分类;研究对象是作为潜在捐精者的健康男性,这可能会限制对更广泛男性人群的推广性。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

- [1] Levine H, Jørgensen N, Martino-Andrade A, et al. Temporal trends in sperm count: a systematic review and meta-regression analysis of samples collected globally in the 20th and 21st centuries [J]. *Human Reproduction Update*, 2023, 29(2): 157-176.
- [2] 杨静薇,黄学锋,王增军,等. CSRM 数据报告:2008~2018 年中国健康男性精液质量变化分析[J]. *生殖医学杂志*, 2020, 29(1):1-6.
Yang JW, Huang XF, Wang ZJ, et al. CSRM data report:analysis of changes of Chinese men's semen quality from 2008 to 2018 [J]. *Journal of Reproductive Medicine*, 2020, 29(1): 1-6.(In Chinese)
- [3] Wang N, Gu HK, Gao YY, et al. Study on influencing factors of semen quality in fertile men[J]. *Frontiers in Physiology*, 2022, 13: 813591.
- [4] Neto FTL, Viana MC, Cariati F, et al. Effect of environmental factors on seminal microbiome and impact on sperm quality [J]. *Frontiers in Endocrinology*, 2024, 15: 1348186.
- [5] Ye YX, Chen HG, Sun B, et al. Associations between depression, oxidative stress, and semen quality among 1,000 healthy men screened as potential sperm donors [J]. *Fertility and Sterility*, 2022, 117(1): 86-94.
- [6] Kim S, Han D, Ryu J, et al. Effects of Mobile phone usage on sperm quality - No time-dependent relationship on usage: A systematic review and updated meta-analysis [J]. *Environmental Research*, 2021, 202: 111784.
- [7] Pizzol D, Foresta C, Garolla A, et al. Pollutants and sperm quality: a systematic review and meta-analysis [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, 28(4): 4095-4103.
- [8] Gill K, Jakubik J, Kups M, et al. The impact of sedentary work on sperm nuclear DNA integrity[J]. *Folia Histochemica et Cytobiologica / Polish Academy of Sciences, Polish Histochemical and Cytochemical Society*, 2019, 57(1): 15-22.
- [9] Lo giudice A, Asmundo MG, Cimino S, et al. Effects of physical activity on fertility parameters: a Meta-Analysis of randomized controlled trials [J]. *The World Journal of Men's Health*, 2024, 42(3): 555-562.
- [10] Ibáñez-Pérez J, Santos-Zorroza B, López-López E, et al. An update on the implication of physical activity on semen quality: a systematic review and meta-analysis[J]. *Archives of Gynecology and Obstetrics*, 2019, 299(4): 901-921.
- [11] Ma YB, Zhang JJ, Cai GQ, et al. Inverse association between ambient particulate matter and semen quality in Central China: Evidence from a prospective cohort study of 15,112 participants [J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 833: 155252.
- [12] World Health Organization. WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen [EB/OL]. [2025-01-26]. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240030787/>.
- [13] Striggow F, Medina-Sánchez M, Auernhammer GK, et al. Sperm-Driven micromotors moving in oviduct fluid and viscoelastic media[J]. *Small*, 2020, 16(24): 2000213.
- [14] Aghazarian A, Huf W, Pflüger H, et al. Standard semen parameters vs. sperm kinematics to predict sperm DNA damage [J]. *The World Journal of Men's Health*, 2021, 39(1): 116-122.
- [15] Baldi E, Gallagher MT, Krasnyak S, et al. Extended semen examinations in the sixth edition of the WHO Laboratory Manual for the Examination and Processing of Human Semen: contributing to the understanding of the function of the male reproductive system[J]. *Fertility and Sterility*, 2022, 117(2): 252-257.
- [16] Björndahl L, Kirkman BJ, Other Editorial Board Members of the WHO Laboratory Manual for the Examination and Processing of Human Semen. The sixth edition of the WHO Laboratory Manual for the Examination and Processing of Human Semen: ensuring quality and standardization in basic examination of human ejaculates [J]. *Fertility and Sterility*, 2022, 117(2): 246-251.
- [17] Benato JL, Streit JD, Teixeira N, et al. Pogonias courbina sperm characteristics in its first reproductive season [J]. *PeerJ*, 2023, 11: e15600.
- [18] Sun B, Messerlian C, Sun ZH, et al. Physical activity and sedentary time in relation to semen quality in healthy men screened as potential sperm donors[J]. *Human Reproduction*, 2019, 34(12): 2330-2339.
- [19] 樊萌语,吕筠,何平平. 国际体力活动问卷中体力活动水平的计算方法[J]. *中华流行病学杂志*, 2014, 35(8):961-964.
Fan MY, Lv J, He PP. Chinese guidelines for data processing and analysis concerning the International Physical Activity Questionnaire [J]. *Chinese Journal of Epidemiology*, 2014, 35 (8): 961-964. (In Chinese)
- [20] Zigmond AS, Snaith RP. The hospital anxiety and depression scale [J]. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 1983, 67(6): 361-370.
- [21] Buysse DJ, Reynolds CF3, Monk TH, et al. The Pittsburgh sleep quality index: a new instrument for psychiatric practice and research (下转第 800 页)

- m micronutrient supplement is unable to attenuate inflammation in People with metabolic syndrome but May improve metabolic health indices: a randomised controlled trial [J]. *Antioxidants*, 2024, 13(4): 404.
- [11] Njus D, Kelley PM, Tu YJ, et al. Ascorbic acid: The chemistry underlying its antioxidant properties [J]. *Free Radical Biology & Medicine*, 2020, 159: 37–43.
- [12] Vona R, Gambardella L, Cittadini C, et al. Biomarkers of oxidative stress in metabolic syndrome and associated diseases [J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019, 2019: 8267234.
- [13] Das S, Reddy RC, Chadchan KS, et al. Nickel and oxidative stress: cell signaling mechanisms and protective role of vitamin C [J]. *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders Drug Targets*, 2020, 20(7): 1024–1031.
- [14] Traber MG, Buettner GR, Bruno RS. The relationship between vitamin C status, the gut–liver axis, and metabolic syndrome [J]. *Redox Biology*, 2019, 21: 101091.
- [15] Saltiel AR, Olefsky JM. Inflammatory mechanisms linking obesity and metabolic disease [J]. *Journal of Clinical Investigation*, 2017, 127(1): 1–4.
- [16] Xiang D, Liu Y, Zhou SJ, et al. Protective effects of estrogen on cardiovascular disease mediated by oxidative stress [J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021, 2021: 5523516.
- [17] Unfer TC, Figueiredo CG, Zanchi MM, et al. Estrogen plus progestin increase superoxide dismutase and total antioxidant capacity in postmenopausal women [J]. *Climacteric*, 2015, 18(3): 379–388.
- [18] Takalani NB, Monageng EM, Mohlala K, et al. Role of oxidative stress in male infertility [J]. *Reprod Fertil*, 2023, 4(3): e230024.
- [19] Hermsdorff HHM, Barbosa KBF, Volp ACP, et al. Vitamin C and fibre consumption from fruits and vegetables improves oxidative stress markers in healthy young adults [J]. *British Journal of Nutrition*, 2012, 107(8): 1119–1127.
- [20] Daenen K, Andries A, Mekahli D, et al. Oxidative stress in chronic kidney disease [J]. *Pediatric Nephrology*, 2019, 34(6): 975–991.
- [21] Sönmez MF, Narin F, Balcioglu E. Melatonin and vitamin C attenuates Alcohol–Induced oxidative stress in aorta [J]. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, 2009, 105(6): 410–415.

收稿日期: 2024–11–27

第 778 页)

- characteristics and changing trends of malaria in Guiping city, Guangxi from 1986 to 2022 [J]. *Journal of Tropical Medicine*, 2023, 23(9): 1314–1317. (In Chinese)
- [18] Rogerson SJ, Aitken EH. Malaria in pregnancy: baby steps [J]. *Current Opinion in Infectious Diseases*, 2024, 37(5): 320–326.
- [19] 田睿, 张奕, 田祎, 等. 2014–2023 年北京市疟疾入境病例的流行病学特征分析 [J/OL]. *寄生虫与医学昆虫学报*: 1–11 [2025–01–26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3158.R.202412.12.1149.002.html>.
- Tian R, Zhang Y, Tian Y, et al. Epidemiological characteristics analysis of imported malaria cases in Beijing from 2014 to 2023 [J/OL]. *Journal of Parasites and Medical Entomology*: 1–11 [2025–01–26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3158.R.202412.12.1149.002.html>. (In Chinese)
- [20] Ashton RA, Chanda B, Chishya C, et al. Why does malaria transmission continue at high levels despite Universal vector control? Quantifying persistent malaria transmission by *Anopheles funestus* in Western Province, Zambia [J]. *Parasites & Vectors*, 2024, 17(1): 429.
- [21] GBD 2021 Causes of Death Collaborators. Global burden of 288 causes of death and Life expectancy decomposition in 204 countries and territories and 811 subnational locations, 1990–2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021 [J]. *Lancet*, 2024, 403(10440): 2100–2132.
- [22] 卢添欢, 宇传华. 基于全球视角的中国痴呆症疾病负担现状及趋势分析 [J]. *中华疾病控制杂志*, 2022, 26(6): 684–690.
- Lu TH, Yu CH. Analysis on the status and trend of dementia burden in China based on the global perspective [J]. *Chinese Journal of Disease Control & Prevention*, 2022, 26(6): 684–690. (In Chinese)

收稿日期: 2024–11–25

(上接第 794 页)

- [J]. *Psychiatry Research*, 1989, 28(2): 193–213.
- [22] Benjamini Y, Hochberg Y. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing [J]. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 1995, 57(1): 289–300.
- [23] 张丽, 袁冠湘, 刘佩意, 等. 男性静坐时长与精液质量关联性 [J]. *中国公共卫生*, 2022, 38(12): 1549–1554.
- Zhang L, Yuan GX, Liu PY, et al. Association between sedentary time and semen quality in adult men: a hospital–based cross–sectional survey [J]. *Chinese Journal of Public Health*, 2022, 38(12): 1549–1554. (In Chinese)
- [24] Xu YN, Liang MJ, Ugbolue UC, et al. Effect of physical exercise under different intensity and antioxidative supplementation for plasma superoxide dismutase in healthy adults: systematic review and network Meta–Analysis [J]. *Frontiers in Physiology*, 2022, 13: 707176.
- [25] Lame–Jouybari AH, Abbasalizad–Farhangi M. Effects of eight–week regular high–intensity interval training and hemp (*Cannabis sativa* L.) seed on total testosterone level among sedentary young males: double–blind, randomized, controlled clinical trial [J]. *Endocrine*, 2024, 84(1): 273–286.

收稿日期: 2024–11–14