

远程医疗在中低收入国家心血管疾病管理中应用的文献计量分析

黄可沛¹, 王敏敏¹, 李斯雯¹, 冯羿凯¹, 金音子^{1,2}, 郑志杰^{1,2}

1. 北京大学公共卫生学院全球卫生学系, 北京 100191; 2. 北京大学全球健康发展研究院, 北京 100191

摘要:目的 基于文献计量, 分析远程医疗在中低收入国家心血管疾病管理中应用的研究发展趋势。方法 在 Web of Science 数据库中, 检索 1998 年 1 月 1 日—2024 年 4 月 30 日相关期刊刊载的远程医疗在中等收入国家和低收入国家的心血管疾病管理领域应用的研究。采用 EXCEL、VOSviewer、R 软件, 分析并可视化年发文量、地区研究强度、关键词、国家引证等, 并开展地域差异分析、研究主题分析。结果 研究共纳入 514 篇文献, 1998—2023 年远程医疗在中低收入国家心血管疾病领域中的研究数量呈上升趋势, 尤其从 2012 年开始快速增长, 中国(21%)、美国(13%)、印度(11%)的研究数量位列前三。134 个中低收入国家中, 57(43%)个国家报道过远程医疗在心血管疾病管理的应用, 中国、印度、巴西、伊朗、孟加拉国的研究文献居前五位; 研究主要集中在中高收入国家(50.3%)和中低收入国家(40.9%)。技术应用场景聚焦于疾病风险因素控制、筛查、诊断等领域, 涉及三级预防的各阶段; 技术种类以手机为载体的 APP 和可穿戴心电图机为目前常用的工具, 近年来逐步融入机器学习、深度学习、人工智能等技术; 技术使用对象涉及大众、患者等医疗卫生服务需求方, 以及医务人员等服务提供方。结论 远程医疗在中低收入国家心血管疾病管理领域的文献数量持续增长, 已融入中低收入国家的心血管疾病管理的全周期流程, 但仍存在地区发展不平等导致的数字鸿沟等问题, 亟待在中低收入国家尤其是非洲地区国家推动技术支持、经济激励等政策落地, 构建一个高效、安全且便捷的数字化心血管病管理体系。

关键词: 心血管疾病; 远程医疗; 中低收入国家; 文献计量学

中图分类号: R54 文献标志码: A 文章编号: 1003-8507(2025)05-779-07

DOI: 10.20043/j.cnki.MPM.202409415

Bibliometric analysis of the application of telemedicine in cardiovascular disease management in low- and middle-income countries

HUANG Ke-pei*, WANG Min-min, LI Si-wen, FENG Yi-kai, JIN Yin-zi, ZHENG Zhi-jie

*Department of Global Health, School of Public Health, Peking University, Beijing 100191, China

Abstract: Objective To analyze the research development trends of telemedicine applications in cardiovascular disease management in low- and middle-income countries based on bibliometric methods. **Methods** Research articles related to the application of telemedicine in cardiovascular disease management within middle- and low-income countries were retrieved from the Web of Science database, covering the period from January 1, 1998, to April 30, 2024. Using Excel, VOS viewer, and R software, we analyzed and visualized annual publication volume, regional research intensity, keywords, country citations, and conducted regional disparity and research topic analyses. **Results** A total of 514 articles were included in the study. The number of publications on telemedicine in cardiovascular disease management in low- and middle-income countries showed an upward trend from 1998 to 2023, particularly experiencing rapid growth since 2012. China (21%), the United States (13%), and India (11%) ranked as the top three countries in terms of research output. Among 134 low- and middle-income countries, 57 (43%) reported the application of telemedicine in cardiovascular disease management, with the highest research output from China, India, Brazil, Iran, and Bangladesh. The research primarily focused on upper-middle-income (50.3%) and lower-middle-income countries (40.9%). The technological applications were concentrated in disease risk factor control, screening, and diagnosis, covering all stages of prevention. The most commonly used tools included mobile applications and wearable electrocardiogram devices, which have increasingly incorporated machine learning, deep learning, and artificial intelligence technologies in recent years. The target users of these technologies included the general public,

基金项目: 国家自然科学基金(72274005); 北京自然科学基金(9232009); 北京市科技新星计划(20230484284)

作者简介: 黄可沛(2001—), 男, 硕士在读, 研究方向: 远程医疗、心血管疾病

通信作者: 金音子, E-mail: yzjin@bjmu.edu.cn

patients, and healthcare service providers. **Conclusion** The volume of literature on telemedicine in cardiovascular disease management in low- and middle-income countries continues to grow, integrating into the entire management process of cardiovascular diseases in these regions. However, challenges such as the digital divide due to regional development disparities persist. There is an urgent need to promote the implementation of technology support and economic incentive policies, particularly in African countries, to establish an efficient, safe, and convenient digital cardiovascular disease management system.

Keywords: Cardiovascular disease; Telemedicine; Low- and middle-income countries; Bibliometrics

中低收入国家心血管疾病负担持续数十年的上升趋势,与高收入国家(high income countries, HICs)相比,估计>80%的心血管病患者生活在这些国家^[1]。远程医疗(telehealth)技术作为数字健康干预措施中的重要组成部分,通过利用互联网、移动通信、可穿戴设备等信息技术可以克服地域限制,为中低收入国家的患者提供更便利、高效、及时、低成本的医疗服务,并增强患者的就诊参与感和自我管理能,改善医疗效果^[2-4],为中低收入国家心血管疾病管理带来了新的机遇。然而,远程医疗在中低收入国家的发展与推广仍然存在一些障碍,分别在政策、技术、个人、组织四大方面存在不足^[5],主要体现在干预措施

的成本效益^[6-7]、非劣性^[8-11]、可接受性^[12-13]等方面。本文基于 Web of Science 核心合集的文献计量分析,系统梳理远程医疗在中低收入国家心血管疾病管理相关研究的发展趋势,分析技术应用的研究热点、地域差异、技术分类,以弥补由于缺乏循证证据导致技术应用不佳所造成的数字鸿沟。

1 材料与方法

1.1 文献来源 本研究以“远程医疗”“心血管疾病”“中低收入国家”作为主题关键词,对 Web of Science 核心合集进行文献检索,检索式为:TS=(“telehealth” OR “Cardiovascular disease”) AND ALL=(“LMICs”),检索时对每个主题关键词进行同义词扩展,检索时间截至 2024 年 4 月 30 日,见表 1。

表 1 文献检索关键词同义扩展

Table 1 Expansion of literature search keywords

主题关键词	同义词
Telehealth	“telemedicine” OR “digital health” OR “digital medicine” OR “mobile health” OR “electronic health” OR “ehealth” OR “mhealth” OR “teleconsultation” OR “remote consultation” OR “remote monitoring” OR “remote rehabilitation” OR “wearable device” OR “telephone” OR “mobile phone” OR “artificial intelligence” OR “information technology”
Cardiovascular disease	“CVD” OR “myocardial infarction” OR “MI” OR “cardiac rehabilitation” OR “coronary” OR “Acute Coronary Syndrome” OR “ACS” OR “Arrhythmia” OR cardio* OR cardiac* OR heart*
LMICs	“developing countries” OR “less developed countries” OR “third-world countries” OR “under-developed countries” OR “poor countries” OR “less developed nations” OR “under developed countries” OR “less developed nations” OR “third world nations” OR “under developed nations” OR “developing nations” OR “poor nations” OR “poor economies” OR “third world economies” OR “developing economies” OR “under developed economies” OR “less developed economies”

1.2 文献纳入排除标准 纳入标准:(1)研究远程医疗技术(包括但不限于可穿戴设备、智能手机、APP等)的实际使用;(2)研究人群处于中低收入国家,并具有心血管疾病及其高危因素(高血压、高血糖等)。排除标准:(1)文章内容与心血管疾病及其高危因素(肥胖、高血压、糖尿病等)无关;(2)研究类型为综述、文献计量、新闻类别等或无法获取全文。

1.3 文献研究方法 本研究使用 Endnote 软件整合纳入文献,首先通过全面审阅每篇文献,记录并统计研究时间与研究对象国籍,使用 EXCEL 软件可视化研究文章数量时间发展趋势,使用 R 软件分析并可视化各国的研究关注度与差异度;随后使用 VOSviewer 软件筛选并归类关键词,进行词频统计与

聚类分析,以识别研究热点及关键词间潜在联系。

2 结果

2.1 文章纳入排除情况 共在 Web of Science 核心合集检索到 1 479 篇文献。通过对文献标题与摘要的筛选,排除不符合标准的文献,最终纳入 514 篇文献进行分析。

2.2 文献发表趋势分析 本研究纳入的 514 篇文献的发表时间分布在 1998—2024 年。总体而言,远程医疗在中低收入国家的心血管疾病管理中的相关研究年度发文量总体呈上升趋势,在 1998—2011 年间文献数量较少,2012 年文献数量开始快速增长,提示该领域受到了研究者越来越高的重视。见图 1。

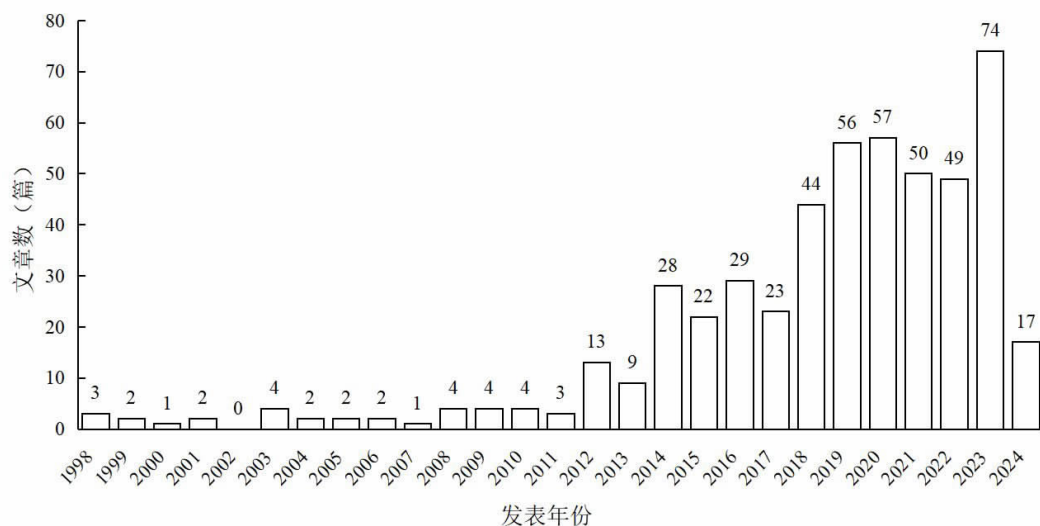


图 1 1998—2024 年远程医疗在中低收入国家心血管疾病管理相关研究数量

Figure 1 Number of telemedicine studies related to cardiovascular disease management in low- and middle-income countries (1998—2024)

1998—2024 年，相关主题研究中最高产作者前五位是 RIBEIRO ALP(巴西, 17 篇)、MARCOLINO MS (巴西, 13 篇)、PRABHAKARAN D (印度, 12 篇)、TANDON N (印度, 12 篇)、RIBEIRO AL (巴西, 11 篇)。最多通信作者所在国分别是中国(106 篇)、美国(66 篇)、印度(57 篇)、巴西(51 篇)、伊朗(17 篇)。最多文章所在期刊前五位是 *JMIR MHEALTH AND UHEALTH*(18 篇)、*BMJ OPEN*(16 篇)、*TELEMEDICINE AND E-HEALTH*(16 篇)、*TRIALS*(14 篇)、*JOURNAL OF MEDICAL INTERNET RESEARCH*(13 篇)。最高被引文章前五位是中国人民解放军总医院的郭豫涛教授团队的两篇文章, 被引次数分居第一、第三, 印度的 Ambady Ramachandran 团队、阿根廷的 DOVAL HC 团队、约旦的 Anan Sadeq Jarab 团队的文章, 被引次数分居第二、四、五位。见表 2。

表 2 1998—2024 年远程医疗在中低收入国家心血管疾病管理相关研究热点

Table 2 Research hotspots of telemedicine in cardiovascular disease management in low- and middle-income countries (1998—2024)

项目	文章数 / 引用数 (%)
最高产作者	
RIBEIRO ALP	17 (3.3)
MARCOLINO MS	13 (2.5)
PRABHAKARAN D	12 (2.3)
TANDON N	12 (2.3)
RIBEIRO AL	11 (2.1)
最高被引文章*	
GUO YT, 2019, J AM COLL CARDIOL	241 (1.8)

(续表)

项目	文章数 / 引用数 (%)
RAMACHANDRAN A, 2013, LANCET DIABETES ENDO	214 (1.6)
GUO YT, 2020, J AM COLL CARDIOL	186 (1.4)
DOVAL HC, 2005, BMJ-BRIT MED J	137 (1.0)
JARAB AS, 2012, J MANAGE CARE PHARM	124 (0.9)
最多通讯作者所在国	
CHINA	106 (21)
USA	66 (13)
INDIA	57 (11)
BRAZIL	51 (10)
IRAN	17 (3)
最多文章所在期刊	
JMIR MHEALTH AND UHEALTH	18 (3.6)
BMJ OPEN	16 (3.1)
TELEMEDICINE AND E-HEALTH	16 (3.1)
TRIALS	14 (2.7)
JOURNAL OF MEDICAL INTERNET RESEARCH	13 (2.5)

注: * 最高被引用文章为引用数 (%)。

2.3 地域差异分析 134 个中低收入国家 (含战乱地区) 中, 有 57 个 (43%) 国家在 1998—2024 年有远程医疗在心血管疾病中的应用情况报道, 其中, 中国、印度、巴西、伊朗、孟加拉国的文献数量居前五, 见表 3。其中, 研究较多的国家多集中在金砖国家, 在非洲、中东非地区的中低收入国家的相关研究少, 侧面说明了这些地区的远程医疗技术的发展水平 (尤其是在心血管疾病方面) 较低。

区域差异上, 研究低收入国家的文献共 13 篇 (2.8%), 中低收入国家 190 篇 (40.9%), 中高收入国家 261 篇 (50.3%)。时间趋势上, 低收入国家的文献

量在近几年略有提升但速度十分缓慢;中低、中高收入国家的文献量自 2012 年开始快速增长,中高收入国家的文献量自 2015 年开始明显高于中低收入国家,2019 年左右所有类型的文献数均达到峰值,见图 2。

表 3 1998—2024 年远程医疗在中低收入国家心血管疾病管理相关研究所在国文章数量

Table 3 Number of articles on telemedicine in cardiovascular disease management in low- and middle-income countries by country (1998—2024)

研究所在国	文章数	研究所在国	文章数
中国	113	不丹	2
印度	71	佛得角	2
巴西	58	海地	2
伊朗	20	哈萨克斯坦	2
孟加拉国	18	秘鲁	2
印尼	17	斯里兰卡	2
马来西亚	16	坦桑尼亚	2
巴基斯坦	12	刚果民主共和国	2
哥伦比亚	12	突尼斯	2
肯尼亚	11	安哥拉	1
南非	11	阿塞拜疆	1
阿根廷	10	保加利亚	1
泰国	10	喀麦隆	1
约旦	10	古巴	1
土耳其	8	多米尼加	1
乌干达	8	埃及	1
加纳	7	埃塞俄比亚	1
墨西哥	6	洪都拉斯	1
尼泊尔	6	象牙海岸	1
越南	6	马拉维	1
柬埔寨	5	马里	1
尼日利亚	5	巴拉圭	1
俄罗斯	4	塞内加尔	1
菲律宾	4	塞尔维亚	1
格鲁吉亚	4	所罗门群岛	1
玻利维亚	3	索马里	1
厄瓜多尔	3	苏里南	1
黎巴嫩	3	阿拉伯叙利亚共和国	1
危地马拉	3		

2.4 研究主题分析 本研究使用 VOSviewer 软件对纳入文献的所有关键词 (author keywords, keywords-plus) 进行关键词共现网络分析,分析时进行同义词合并与格式统一,记录出现频次前 30 个关键词及其频次,其中,出现频次前十名的依次为:telehealth 151 次、mhealth 94 次、cardiovascular disease 88 次、hypertension 78 次、management 76 次、information technology 68 次、intervention 60 次、care 52 次、ECG 47 次、blood pressure 42 次。见表 4。

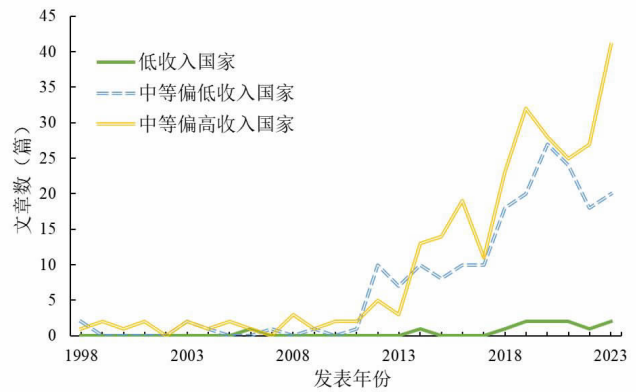


图 2 1998—2024 年间远程医疗在中低收入国家的心血管疾病管理的研究文献数量时间趋势

Figure 2 Temporal trends in the number of telemedicine studies on cardiovascular disease management in low- and middle-income countries (1998—2024)

对关键词进行聚类分析发现,主要可以分为三大类:疾病风险因素、技术种类与形式、管理方式与阶段。疾病风险因素有“高血压”“糖尿病”“肥胖”“超重”等;技术种类与形式有“心电图”“人工智能”“物联网”“电子健康记录”“APP 或手机”等;管理方式与阶段有“生活方式干预”“自我管理”“护理”“急救”“诊断”“筛查”等。提示通过远程医疗干预控制心血管疾病的危险因素是心血管疾病管理一条重要的途径,管理涉及三级预防全过程,以手机为载体的 APP 和心电图是目前常用的干预工具。近几年兴起的研究关键词有“人工智能”“手机 APP”“接受度”“数字健康”“应用”“深度学习”“筛查”,提示了该领域目前的新兴方向。见图 3。

表 4 1998—2024 年远程医疗在中低收入国家心血管疾病管理相关文章关键词词频

Table 4 Keyword frequency in articles on telemedicine for cardiovascular disease management in low- and middle-income countries (1998—2024)

关键词	频次	关键词	频次
telehealth	151	outcomes	34
mhealth	94	primary care	31
CVD	88	telephone	30
hypertension	78	adherence	28
management	76	mortality	27
information technology	68	medication adherence	25
intervention	60	myocardial infarction	25
care	52	nursing	25
ECG	47	adults	23
blood pressure	42	healthcare	23
prevention	42	stroke	23
diabetes	40	cardiac rehabilitation	22
prevalence	37	heart failure	22
self-management	37	china	21
risk	35	risk factor	20

息技术的进步,使得智能手机、可穿戴设备等远程医疗工具逐渐普及^[14];同时,各国政府通过政策支持和国际合作,推动了远程医疗基础设施的建设和发展^[15]。此外,心血管疾病负担加重以及公众健康意识的提高,进一步激发了对远程医疗的需求^[16]。

地域差异分析表明,中低收入国家在心血管疾病管理领域的远程医疗研究呈现不均衡态势,中高收入国家的文献数量及增速远超中低、低收入国家,例如非洲地区的研究较少,提示远程医疗虽能提高医疗卫生服务的可及性、有效缓解医疗资源短缺^[17],但数字鸿沟仍在显著加剧^[18]。依据技术接受与使用统一理论^[19],远程医疗技术的推广及应用受到多方面因素的影响,包括服务提供方的绩效期望、自我效能、技术使用的激励措施,以及服务需求方的健康素养、对技术的信任度等^[20-26]。因此,相关政府部门及医疗卫生机构应采取相应措施,包括但不限于为医务人员提供必要的技术支持及制定激励机制,对患者进行健康宣教等,以促进远程医疗技术在心血管疾病管理领域的应用及推广。

研究主题分析发现,远程医疗已融入中低收入国家的心血管疾病管理的全周期流程,涉及从高危因素预防到疾病筛查、诊断、预后管理的各个环节,具有广泛的应用前景。远程医疗平台的搭建促进了区域协同救治流程的优化,增加了患者对医疗卫生资源的可及性^[27-28],然而远程医疗平台在应用过程中,仍存在一些不足,如技术基础设施薄弱及数据隐私安全等^[20,29-30],这提示远程医疗平台的搭建不仅需要技术支撑,还需要相关的政策配套措施,政策制定者、技术开发部门及相关利益方应加强协同合作^[31],以推动远程医疗的可持续发展,构建一个高效、安全且便捷的数字化心血管疾病管理体系^[32]。

尽管远程医疗在心血管疾病管理中展现出了显著的潜力,其广泛应用仍面临诸多挑战,尤其是地区发展不平等导致的数字鸿沟等问题亟需有效的解决方案。未来的研究与实践应当专注于缩小数字鸿沟,确保不同地区和人群能平等地受益于远程医疗服务的发展与进步。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

[1] Yusuf S, Joseph P, Rangarajan S, et al. Modifiable risk factors, cardiovascular disease, and mortality in 155 722 individuals from 21 high-income, middle-income, and low-income countries (PURE): a prospective cohort study[J]. *Lancet*, 2020, 395(10226): 795-808.

[2] Gandapur Y, Kianoush S, Kelli HM, et al. The role of mHealth for improving medication adherence in patients with cardiovascular disease: a systematic review [J]. *Eur Heart J Qual Care Clin Outcomes*, 2016, 2(4): 237-244.

[3] Pfaeffli dale L, Dobson R, Whittaker R, et al. The effectiveness of mobile-health behaviour change interventions for cardiovascular disease self-management: A systematic review [J]. *European Journal of Preventive Cardiology*, 2016, 23(8): 801-817.

[4] Coorey GM, Neubeck L, Mulley J, et al. Effectiveness, acceptability and usefulness of Mobile applications for cardiovascular disease self-management: Systematic review with meta-synthesis of quantitative and qualitative data [J]. *European Journal of Preventive Cardiology*, 2018, 25(5): 505-521.

[5] WHO South-East Asia. Leveraging telehealth for efficient delivery of primary health care in the WHO South-East Asia Region[EB/OL]. [2025-01-08]. <https://www.who.int/publications/i/item/leveraging-telehealth-for-efficient-delivery-of-primary-health-care-in-the-who-south-east-asia-region>.

[6] Mistry H. Systematic review of studies of the cost-effectiveness of telemedicine and telecare. Changes in the economic evidence over twenty years [J]. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 2012, 18(1): 1-6.

[7] Ogungbe O, Longenecker CT, Beaton A, et al. Advancing cardiovascular health Equity globally through digital technologies[J]. *Journal of the American Heart Association*, 2024, 13(2): e031237.

[8] Salisbury C, O'cathain A, Thomas C, et al. Telehealth for patients at high risk of cardiovascular disease: pragmatic randomised controlled trial[J]. *BMJ (Clinical Research ed.)*, 2016, 353: i2647.

[9] Gingele AJ, Brunner-la Rocca H, Ramaekers B, et al. Telemonitoring in patients with heart failure: Is there a long-term effect?[J]. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 2019, 25(3): 158-166.

[10] Holst M, Willenheimer R, M?rtensson J, et al. Telephone follow-up of self-care behaviour after a single session education of patients with heart failure in primary health care [J]. *European Journal of Cardiovascular Nursing: Journal of the Working Group on Cardiovascular Nursing of the European Society of Cardiology*, 2007, 6(2): 153-159.

[11] Karhula T, Vuorinen AL, Rääpysjärvi K, et al. Telemonitoring and Mobile Phone-Based health coaching among finnish diabetic and heart disease patients: randomized controlled trial [J]. *Journal of Medical Internet Research*, 2015, 17(6): e153.

[12] Bhandari B, Schutte AE, Jayasuriya R, et al. Acceptability of a mHealth strategy for hypertension management in a low-income and middle-income country setting: a formative qualitative study among patients and healthcare providers [J]. *BMJ Open*, 2021, 11(11): e052986.

[13] Mccool J, Dobson R, Whittaker R, et al. Mobile health (mHealth) in Low-and Middle-Income countries [J]. *Annual Review of Public Health*, 2022, 43: 525-539.

[14] Dorsey ER, Topol EJ. Telemedicine 2020 and the next decade[J]. *Lancet*, 2020, 395(10227): 859.

[15] Ohannessian R, Duong TA, Odone A. Global telemedicine implementation and integration within health systems to fight the COVID-19 pandemic: a call to action [J]. *JMIR Public Health Surveill*, 2020, 6(2): e18810.

[16] Schwamm LH. Telehealth: seven strategies to successfully implement disruptive technology and transform health care [J]. *Health Affairs (Project Hope)*, 2014, 33(2): 200-206.

[17] Van de vijver S, Tensen P, Asiki G, et al. Digital health for all: How

- digital health could reduce inequality and increase Universal health coverage[J]. Digit Health, 2023, 9: 20552076231185434.
- [18] Samuels-Kalow M, Jaffe T, Zachrisson K. Digital disparities: designing telemedicine systems with a health Equity aim [J]. Emergency Medicine Journal, 2021, 38(6): 474-476.
- [19] Dwivedi YK, Rana NP, Tamilmani K, et al. A meta-analysis based modified unified theory of acceptance and use of technology (meta-UTAUT): a review of emerging literature [J]. Current Opinion in Psychology, 2020, 36: 13-18.
- [20] Borges do nascimento JJ, Abdulazeem H, Vasanthan LT, et al. Barriers and facilitators to utilizing digital health technologies by healthcare professionals[J]. NPJ Digit Med, 2023, 6(1): 161.
- [21] Weik L, Fehring L, Mortsiefer A, et al. Understanding inherent influencing factors to digital health adoption in general practices through a mixed-methods analysis[J]. NPJ Digit Med, 2024, 7(1): 47.
- [22] Wu P, Zhang RT, Luan J, et al. Factors affecting physicians using Mobile health applications: an empirical study [J]. BMC Health Services Research, 2022, 22(1): 24.
- [23] Xinyan Z, Mamun AA, Ali MH, et al. Modeling the adoption of medical wearable devices among the Senior adults: Using hybrid SEM-neural network approach [J]. Front Public Health, 2022, 10: 1016065.
- [24] Qu SJ, Zhou M, Kong N, et al. Factors influencing user acceptance of weight management apps among Chinese obese individuals during the COVID-19 pandemic [J]. Health Policy and Technology, 2023, 12(2): 100758.
- [25] Octavius GS, Antonio F. Antecedents of intention to adopt Mobile health (mHealth) application and its impact on intention to recommend: an evidence from Indonesian customers[J]. International Journal of Telemedicine and Applications, 2021, 2021: 6698627.
- [26] Li T, Zhang YC, Luo XL, et al. Exploring patients' intentions for usage of video telemedicine Follow-Up services: Cross-Sectional study [J]. Telemedicine Journal and E-health: the Official Journal of the American Telemedicine Association, 2024, 30(3): 731-742.
- [27] Kasoju N, Remya NS, Sasi R, et al. Digital health: trends, opportunities and challenges in medical devices, pharma and bio-technology[J]. CSI Transactions on ICT, 2023, 11(1): 11-30.
- [28] Haleem A, Javaid M, Singh RP, et al. Telemedicine for healthcare: Capabilities, features, barriers, and applications[J]. Sens Int, 2021, 2: 100117.
- [29] Li YH, Li YL, Wei MY, et al. Innovation and challenges of artificial intelligence technology in personalized healthcare [J]. Scientific Reports, 2024, 14(1): 18994.
- [30] Lu L, Zhang JY, Xie Y, et al. Wearable health devices in health care: narrative systematic review [J]. JMIR Mhealth Uhealth, 2020, 8(11): e18907.
- [31] Ye JC, He L, Beestrum M. Implications for implementation and adoption of telehealth in developing countries: a systematic review of China's practices and experiences [J]. NPJ Digit Med, 2023, 6(1): 174.
- [32] Zhang X, Mcjoynt T, Furst JW, et al. Establishing a Patient-Centered virtual care model across the continuum of care[J]. Journal of Primary Care & Community Health, 2022, 13: 2150.

收稿日期:2024-09-24

(上接第 773 页)

- with HIV/AIDS in Sichuan province, 1991-2017[J]. Chinese Journal of Epidemiology, 2019, 40(3): 309-314.(In Chinese)
- [9] 杨荣荣,严月康,余丽玲,等. 赣州市 2011-2021 年艾滋病疫情变化及特征分析 [J]. 赣南医学院学报, 2023, 43(11): 1129-1133.
- Yang RR, Yan YK, Yu LL, et al. Analysis of AIDS epidemic changes and characteristics in Ganzhou city from 2011 to 2021 [J]. Journal of Gannan Medical University, 2023, 43(11): 1129-1133.(In Chinese)
- [10] 张雨沁,褚文达,唐小德,等. 2014-2019 年上海某区新确诊艾滋病人群免疫水平监测与分析 [J]. 热带医学杂志, 2020, 20(8): 1110-1112.
- Zhang YQ, Chu WD, Tang XD, et al. Surveillance and analysis of immune level of newly diagnosed AIDS patients in areas of Shanghai from 2014 to 2019 [J]. Journal of Tropical Medicine, 2020, 20(8): 1110-1112.(In Chinese)
- [11] 陈浩,刘惠,叶茂,等. 重庆市渝北区 50 岁以上男性嫖客艾滋病感染状况及影响因素分析[J]. Journal of Medical Pest Control, 2020, 36(3): 237-239.
- Chen H, Liu H, Ye M, et al. Analysis of the AIDS infection status and influencing factors among male prostitutes aged over 50 in Yubei District, Chongqing[J]. Journal of Medical Pest Control, 2020, 36(3): 237-239.(In Chinese)
- [12] 叶振森,陈晟,姚晓秋,等. 温州市农村地区 ≥60 岁老年男性嫖客艾滋病知识及性行为特征调查 [J]. 实用预防医学, 2020, 27(1): 38-41.
- Ye ZM, Chen S, Yao XQ, et al. HIV/AIDS-related knowledge and sexual behavior characteristics among elderly male clients aged 60 years and above in rural areas of Wenzhou city [J]. Practical Preventive Medicine, 2020, 27(1): 38-41.(In Chinese)
- [13] Shi LG, Tang WM, Liu XY, et al. Trends of late HIV presentation and advance HIV disease among newly diagnosed HIV cases in Jiangsu, China: A serial cross-sectional study from 2008 to 2020 [J]. Front Public Health, 2022, 10: 1054765.
- [14] Hu X, Liang BY, Zhou CX, et al. HIV late presentation and advanced HIV disease among patients with newly diagnosed HIV/AIDS in Southwestern China: a large-scale cross-sectional study [J]. AIDS Research and Therapy, 2019, 16(1): 6.
- [15] 施雅莹,余继熙,刘芳,等. 成都市 2010-2019 年新报告 HIV/AIDS 病例晚发现的影响因素及晚发现病例的生存情况分析[J]. 现代预防医学, 2022, 49(12): 2143-2148.
- Shi YY, Yu JX, Liu F, et al. Analysis of factors influencing late detection of newly reported HIV/AIDS cases and survival of late detected cases in Chengdu from 2010 to 2019[J]. Modern Preventive Medicine, 2022, 49(12): 2143-2148.(In Chinese)
- [16] The Lancet HIV. Time to tackle late diagnosis[J]. Lancet HIV, 2022, 9(3): e139.

收稿日期:2024-11-29

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》^[20]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》^[21]。

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

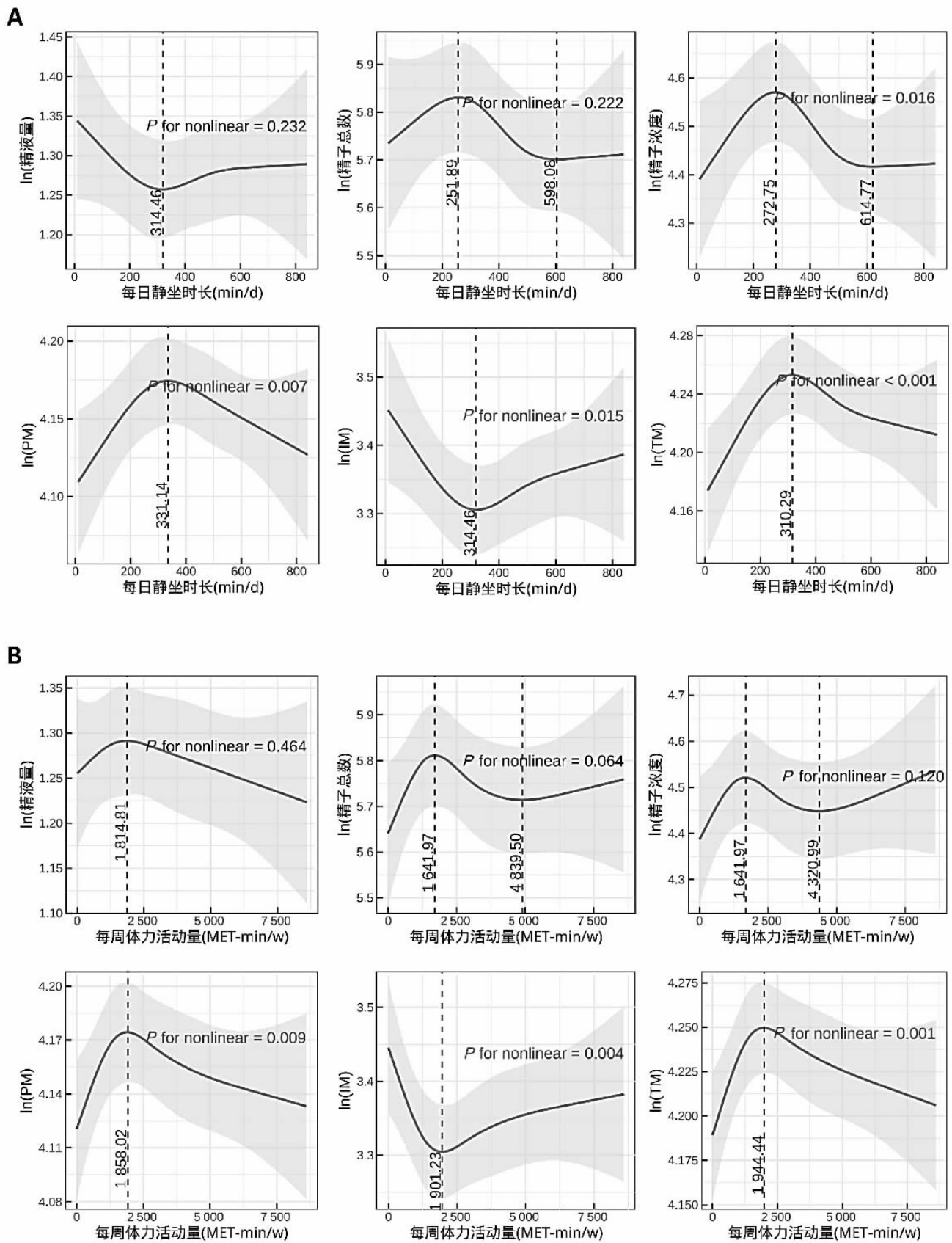


图 1 每日静坐时长(A)和每周体力活动量(B)与常规精液指标对数值的 RCS 结果(节点数=4)

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。

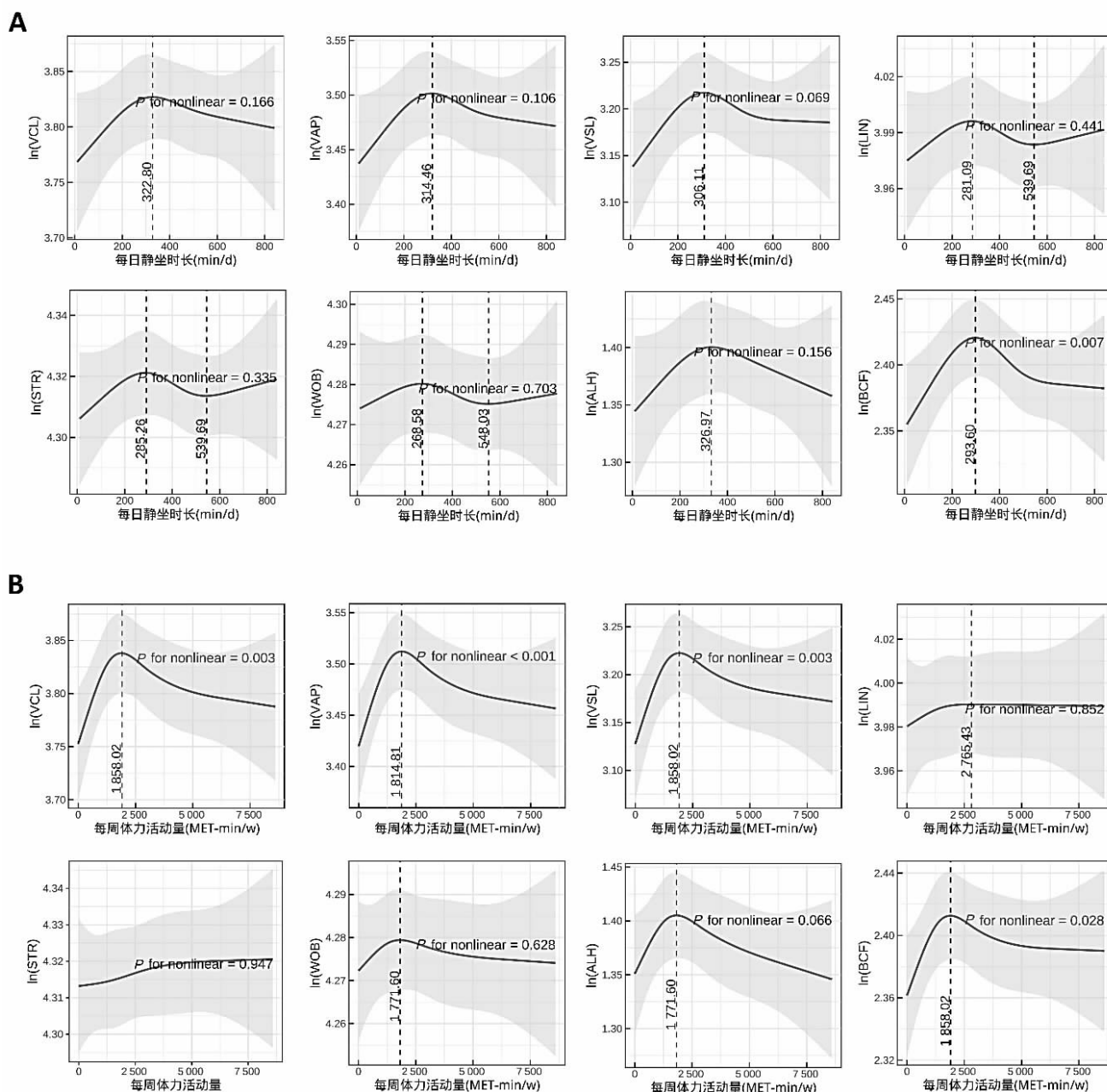


图 2 每日静坐时长(A)和每周体力活动量(B)与精子动力学指标对数值的 RCS 结果(节点数=4)

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。

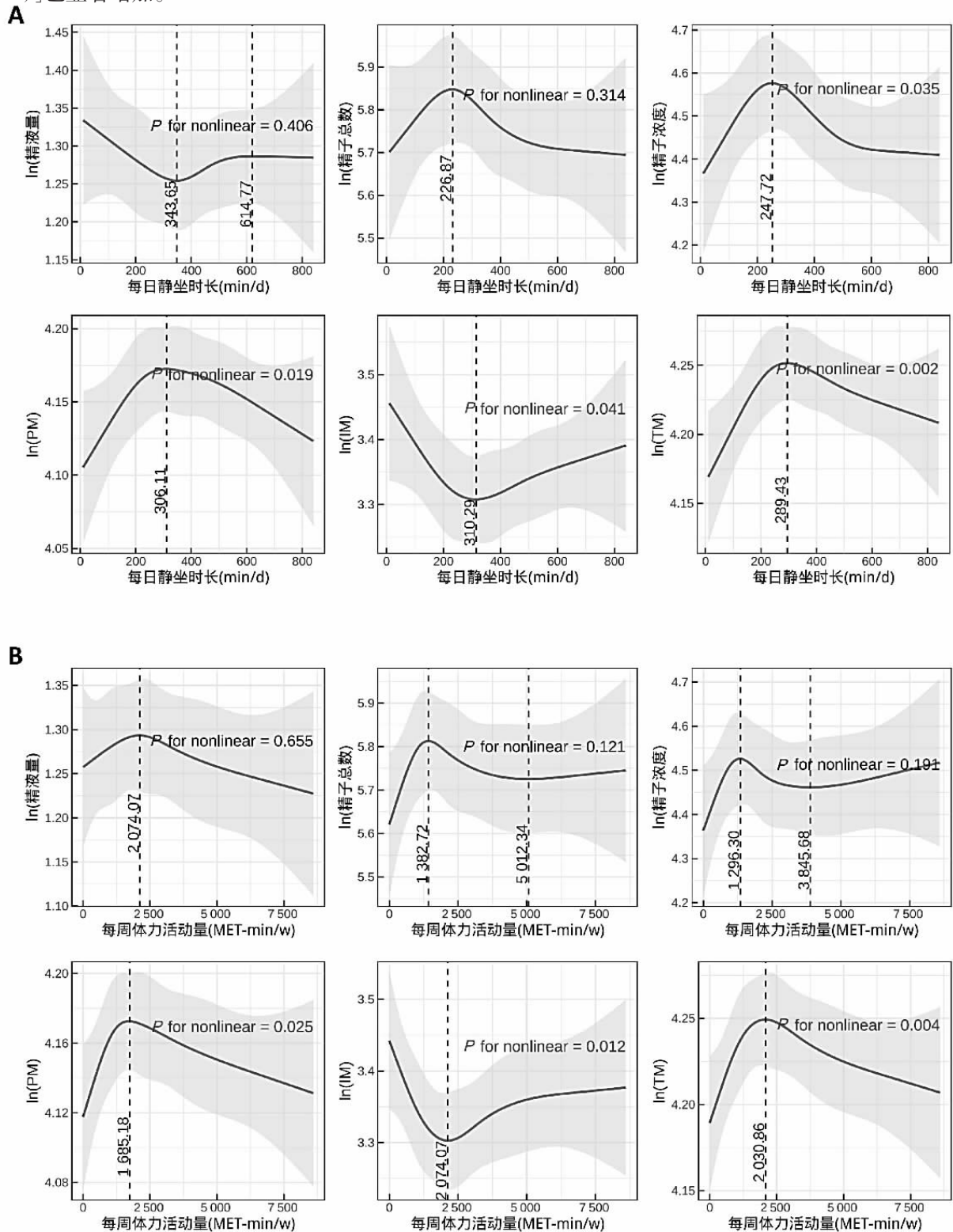


图 3 每日静坐时长(A)和每周体力活动量(B)与常规精液指标对数值的 RCS 结果(节点数=5)

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

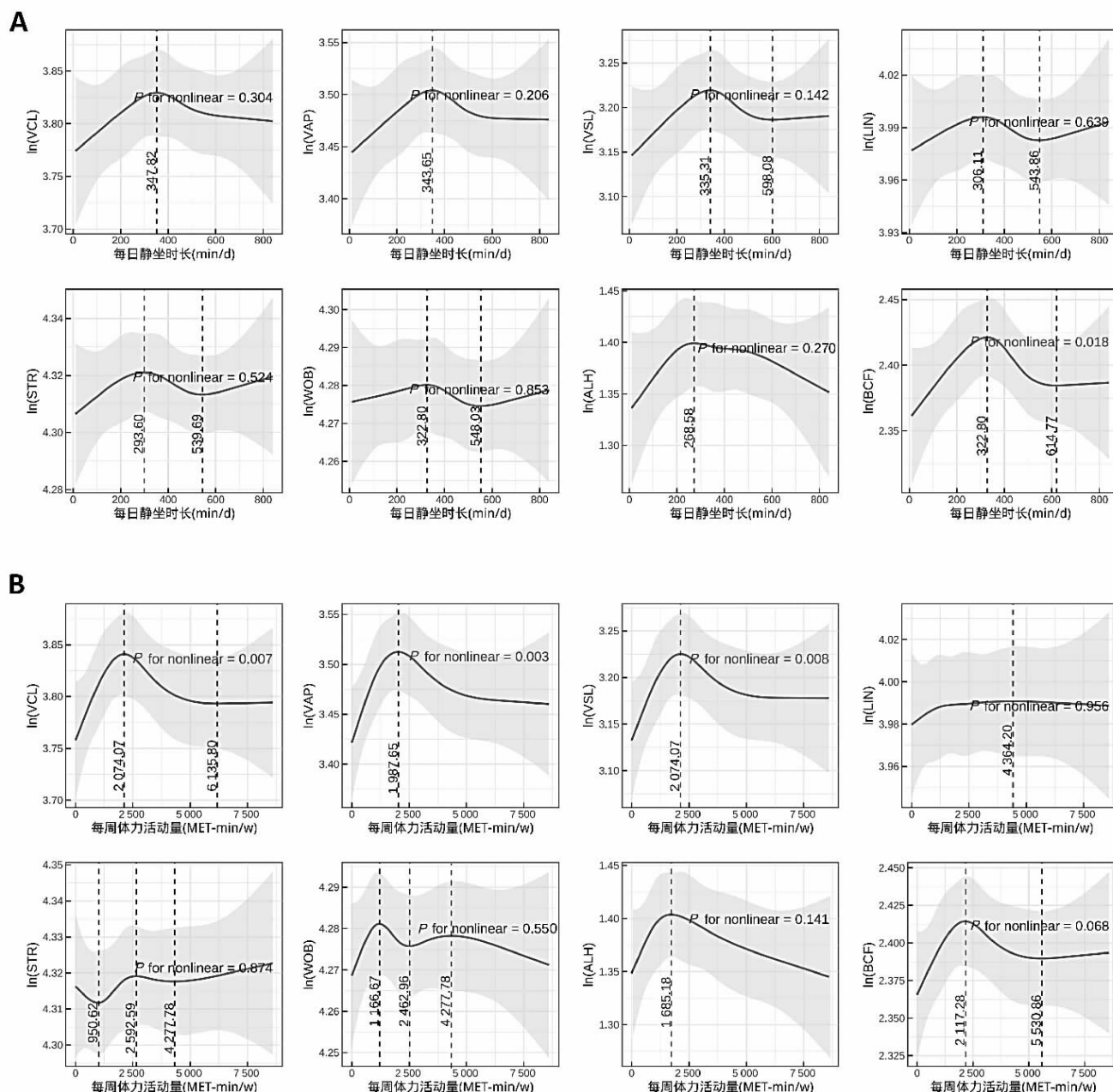


图 4 每日静坐时长(A)和每周体力活动量(B)与精子动力学指标对数值的 RCS 结果(节点数 =5)

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)