

基于贝叶斯时空模型的老龄人口占比 与艾滋病关联研究

黄秋萍^{1,2}, 王钰¹, 温绮岚¹, 陈广泰³, 杜志成¹

1. 中山大学公共卫生学院, 广东 广州 510080; 2. 中山大学孙逸仙纪念医院; 3. 广东省卫生健康委员会事务中心

摘要:目的 本研究旨在分析人口老龄化对 HIV/AIDS 发病率及死亡率的影响, 并探讨社会经济因素对人口老龄化与 HIV/AIDS 发病率、死亡率关联的修饰效应。方法 收集中国大陆 31 个省区市 2004—2020 年报告的 HIV/AIDS 发病与死亡数据、人口结构及社会经济指标。构建以不同年龄段人口占比为主要解释变量的贝叶斯时空模型, 校正因素包括人均国内生产总值 (GDP)、医疗卫生机构数量、人口密度、性别比、受教育率和年平均气温, 并分析社会经济指标的修饰效应。结果 在全国层面, “0~14 岁”人口比例每增加 1%, HIV/AIDS 死亡相对风险增加 1.1% (95% CI: 1.001~1.021); “≥65 岁”人口比例每增加 1%, HIV/AIDS 发病相对风险增加 2.0% (95% CI: 1.006~1.033), 死亡相对风险增加 1.8% (95% CI: 1.004~1.033)。修饰效应结果: 在不同男女性别比和受教育率分层中, 人口老龄化与 HIV/AIDS 发病率及死亡率均呈显著正向关联, 但两者对发病率及死亡率的线性趋势均不显著。结论 人口老龄化的进程提高了 HIV/AIDS 发病及死亡的相对风险, 且男女性别比、受教育率可能在一定程度上调节老龄化与 HIV/AIDS 关联。

关键词: 贝叶斯时空模型; 人口老龄化; 艾滋病病毒/艾滋病

中图分类号: R183.7 文献标志码: A 文章编号: 1003-8507(2026)12-2145-08

DOI: 10.20043/j.cnki.MPM.202509307

Association between the proportion of elderly population and HIV/AIDS based on a Bayesian spatio-temporal model

HUANG Qiu-ping*, WANG Yu, WEN Qi-lan, CHEN Guang-tai, DU Zhi-cheng

* School of Public Health, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510080, China

Abstract: **Objective** To analyze how population aging affects HIV/AIDS incidence and mortality, and to explore the modifying role of socioeconomic factors in this association. **Methods** Data on reported HIV/AIDS incidence and mortality, demographic structure, and socioeconomic indicators were collected from 31 provinces in mainland China between 2004 and 2020. A Bayesian spatio-temporal model was constructed with the proportions of different age groups as key explanatory variables. Covariates included per capita gross domestic product (GDP), number of health institutions, population density, sex ratio, education level and annual mean temperature. The modifying effects of socioeconomic indicators were also analyzed. **Results** At the national level, each 1% increase in the proportion of the population aged 0-14 years was associated with a 1.1% increase in the relative risk of HIV/AIDS mortality (95% CI: 1.001-1.021). Each 1% increase in the proportion of the population aged ≥65 years was associated with a 2.0% increase in the relative risk of HIV/AIDS incidence (95% CI: 1.006-1.033) and a 1.8% increase in the relative risk of HIV/AIDS mortality (95% CI: 1.004-1.033). The effect modification analysis showed that, across different strata of sex ratio and education level, population aging was significantly positively associated with HIV/AIDS incidence and mortality, while the linear trends of sex ratio and education level on incidence and mortality were not significant. **Conclusion** The progression of population aging increases the relative risk of HIV/AIDS incidence and mortality, and sex ratio and education level may partially modify the association between aging and HIV/AIDS.

Keywords: Bayesian spatio-temporal model; Population aging; HIV/AIDS

1 引言

随着中国人口老龄化加剧, 65 岁及以上人口已

达 1.9 亿, 占总人口 13.5%, 接近深度老龄化社会^[1]。传统观点普遍认为性行为随年龄增长而减少, 但仍有相当一部分老年人保持性活跃^[2]。加之抗逆转录病毒治疗 (ART) 的普及和早期检测的强化, 艾滋病流行病学特征呈现新的趋势^[3], 老年人群 HIV 感染率显

作者简介: 黄秋萍 (1994—), 女, 硕士在读, 技师, 研究方向: 医学检验
通信作者: 杜志成, E-mail: duzhch5@mail.sysu.edu.cn

著上升, HIV/AIDS 感染者老龄化问题受到广泛关注^[4]。

近年来,关于老年人群与艾滋病的研究逐渐增多,如 Fu L 等^[5]采用估计年度百分比变化分析 1990—2019 年 60~89 岁人群 HIV 感染的全球、区域和国家负担,得出全球老年 HIV 负担呈总体下降,区域上升的格局;关明玥等^[6]通过轨迹分析模型探讨我国 2013—2021 年 ≥ 60 岁 HIV 感染者死亡情况及变化趋势,得出老年 HIV 感染者死亡密度受年龄影响较大,且主要集中于男性患者;金怡晨等^[7]运用 joinpoint 回归分析我国 2015—2022 年 ≥ 60 岁 HIV 感染者流行特征和变化趋势,得出老年 HIV 感染风险意识较差、不安全性行为多,感染风险高;Yuan F 等^[8]通过时空聚类分析四川省 2008—2019 年老年 HIV/AIDS 分布特征,得出老年人已成为四川 HIV/AIDS 流行的关键人群;Feng S 等^[9]基于四川省 2004—2019 年 HIV/AIDS 数据,构建整合年龄结构与性传播的动力学模型,证实老年群体在 HIV 传播中作用关键。

现有研究大多以老年 HIV/AIDS 患者为研究对象,较少从整体人口结构角度直接探讨人口老龄化程度与 HIV/AIDS 之间的关联,且缺乏对社会经济因素修饰效应的系统分析。此外,多数研究主要关注发病率,对死亡率的关注不足。因此,本研究利用贝叶斯时空模型探究人口老龄化对 HIV/AIDS 发病率和死亡率的影响,有研究表明 HIV 的传播和分布具有显著的时空异质性^[10],一方面,中国艾滋病疫情在省级尺度上具有较强的空间依赖性,另一方面,同一地区连续年份的疾病风险并非相互独立,而是受到既往流行水平、防控措施持续性等因素的影响,表现出明显的时间依赖性。在上述背景下,若采用传统回归模型并假设观测值之间相互独立,可能低估参数不确定性,甚至导致回归系数估计偏倚。贝叶斯时空模型可以通过整合时间和空间的随机效应,对影响因素与疾病之间的关系进行更精准的估计^[11]。

2 方 法

2.1 数据来源 HIV/AIDS 病例数据来源于公共卫生科学数据中心,基于我国法定传染病网络直报系统汇总,按照《HIV/AIDS 病例报告网络直报工作指南》的病例标准进行报告。艾滋病病毒感染者(HIV):符合 HIV 抗体确认试验阳性判断标准,或符合 HIV 感染替代策略 II 阳性判断标准。艾滋病病人(AIDS): (1)流行病学史同急性 HIV 感染。(2)以下任一临床表现:①原因不明的免疫功能低下;②持续原因不明的全身淋巴结肿大(淋巴结直径大于 1cm);③慢性腹泻多于 4~5 次/日,3 个月内体重下降大于 10%;④

合并有口腔链球菌感染、卡氏肺囊虫肺炎、巨细胞病毒感染、弓形虫病、隐球菌脑膜炎,进展迅速的活动性肺结核、皮肤粘膜的 kaposi 肉淋巴瘤等;⑤中青年患者出现痴呆症。(3)以下 3 项实验室检查:①抗 HIV 抗体阳性经确诊试验证实者;②CD4 淋巴细胞总数小于 $200/\text{mm}^3$ 或 $200 \sim 500/\text{mm}^3$;③可找到合并感染的病原学或肿瘤的病理依据。

三个年龄段人口比例、各省人口总数、人均 GDP、医疗卫生机构数、性别比、人口密度、年平均气温、受教育率等社会经济指标来源于《中国统计年鉴》,数据时间范围为 2004—2020 年,空间范围为中国大陆 31 个省区市。

2.2 统计分析

2.2.1 描述性分析 采用折线图描述全国 HIV/AIDS 发病率及死亡率变化趋势;使用百分条图及 Mann-Kendall(MK)趋势检验分析年龄结构变化;通过时空热图描述各省 HIV/AIDS 发病率及死亡率变化趋势;

空间自相关用于评估变量在地理空间上的聚集程度,包括全局和局部空间自相关(LISA)两类指标^[12]。本研究采用全局 Moran I 指数评估 HIV/AIDS 发病率、死亡率及各年龄段人口比例的空间聚集性。当 $I < 0$ 且 $P < 0.05$ 时,表示存在负相关;当 $I > 0$ 且 $P < 0.05$ 时,表示存在正相关; I 值越大,空间相关性越明显。检验水准 $\alpha = 0.05$,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2.2.2 贝叶斯时空分析 首先采用 Spearman 相关分析检验三年龄段人口占比间的共线性。结果显示:“0~14 岁”人口占比与“15~64 岁”人口占比($\rho = -0.83, P < 0.001$)及“ ≥ 65 岁”人口占比($\rho = -0.48, P < 0.001$)均呈显著负相关,提示存在多重共线性,故模型 1 分别以三年龄段人口占比为解释变量进行建模。其次,现有研究表明社会经济因素包括经济、医疗、教育、性别、气候等均对 HIV/AIDS 发病率与死亡率产生显著影响^[13-15],因此本研究在模型 2 中控制了人均 GDP、医疗资源、人口密度、性别比、教育水平和年平均气温等混杂因素,其中重点关注以“ ≥ 65 岁”人口占比作为表征指标的人口老龄化对 HIV/AIDS 发病率及死亡率的影响。

最后,为进一步探究社会经济因素对人口老龄化与 HIV/AIDS 发病率和死亡率关联的修饰效应,我们进一步在贝叶斯时空模型中引入“ ≥ 65 岁”人口占比与社会经济指标的交互项进行分析,具体指标包括人均 GDP、医疗卫生机构数、男女性别比、人口密度、受教育率和年平均气温。社会经济指标按照四分位数分层,主要考虑该分组方法不依赖变量分布形式,能

能够在保证各组样本量相对均衡的同时,更好地反映社会经济水平由低至高的梯度变化。修饰效应结果以相对风险(RR)及其 95% 可信区间(CI)通过森林图进行可视化展示。最后,采用 meta 回归方法,对修饰效应中有统计学意义的指标进行趋势性检验,检验其 RR 值随分组顺序的线性变化趋势。

在本研究中我们假设第 d 省第 t 年 HIV/AIDS 病例数/死亡数服从泊松分布:

$$y_{dt} \sim \text{Poisson}(\lambda_{dt}), \lambda_{dt} = e_{dt} \cdot \theta_{dt} \quad (1)$$

y_{dt} 表示第 d 省第 t 年报告的 HIV/AIDS 病例数/死亡数, e_{dt} 表示第 d 省第 t 年预期的 HIV/AIDS 病例数/死亡数, θ_{dt} 表示第 d 省第 t 年实际病例数/死亡数与预期病例数/死亡数之比,即疾病发病率/死亡率 RR。贝叶斯时空模型建模如下:

$$\ln(\theta_{dt}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Age} + \sum_{k=2}^7 \chi_{ik} \beta_k + \log(\text{population}) + \phi_{dt} \quad (2)$$

其中 β_0 为截距, Age 表示年龄段人口占比, χ_i ($i = 2, 3, 4, 5, 6, 7$) 表示混杂变量(人均 GDP、医疗卫生机构数、男女性别比、人口密度、受教育率、年平均气温), β_1 和 β_k 为对应变量的回归系数, $\log(\text{population})$ 表示对数化人口总数,为偏移量, ϕ_{dt} 为空间-时间随机效应。为刻画时空相关性,设 ϕ_t 为第 t 年的空间效应向量,其满足一阶自回归结构(AR(1)):

$$\phi_t | \phi_{t-1} \sim N(\rho_T \phi_{t-1} \tau^2 Q(W, \rho_s)^{-1}) \quad (3)$$

其中, $Q(W, \rho_s)$ 为空间精度矩阵,基于 Leroux 条件自回归模型构建:

$$Q(W, \rho_s) = \rho_s [\text{diag}(W1) - W] + (1 - \rho_s) I \quad (4)$$

W 为空间邻接矩阵(基于 Queen 邻接原则构建)。参数先验设定为:

$$\tau^2 \sim \text{Inverse-Gamma}(a, b), \rho_s, \rho_T \sim \text{Uniform}(0, 1)$$

贝叶斯时空模型的构建基于 R 4.4.2, 采用 CARBayesST 包(version 4.0)实现。模型收敛性以潜在尺度缩减因子(Potential Scale Reduction Factor, PSRF)评估,一般认为,当 PSRF 值接近 1 且小于 1.1 时模型为良好收敛,本研究所有参数的 PSRF 值范围为 1.0 ~ 1.1;模型拟合效果用残差散点图评价,本研究拟合的模型绝大部分散点在 0 水平线上下随机分布,标准化残差超过 ± 2 的比例均小于 2%,说明模型拟合较为稳定。参数估计采用马尔可夫链蒙特卡罗(Markov Chain Monte Carlo, MCMC)模拟方法实现,具体设置为总迭代 2 000 000 次,前 400 000 次作为预热,每隔 200 次保留一次样本,3 条链并行采样,并启用 MALA 算法(Metropolis-adjusted Langevin algorithm)以加快收敛速度,固定效应回归系数 β 的先验均值与方差参考拟合的 Quasi-Poisson 广义线性模型(GLM)结果设定,从而有助于提高模型的收敛效

率与后验有效样本量,其余参数均采用默认的弱信息先验,以体现对时间与空间结构的不确定性。

3 结果

3.1 描述性分析 如图 1 所示,2004—2020 年全国 HIV/AIDS 发病率由 1.26/10 万上升至 10.76/10 万,其中 2004—2019 年持续上升,2020 年略有下降。HIV/AIDS 死亡率由 2004 年的 0.06/10 万上升至 2020 年的 2.62/10 万,整体上升但增幅较缓。

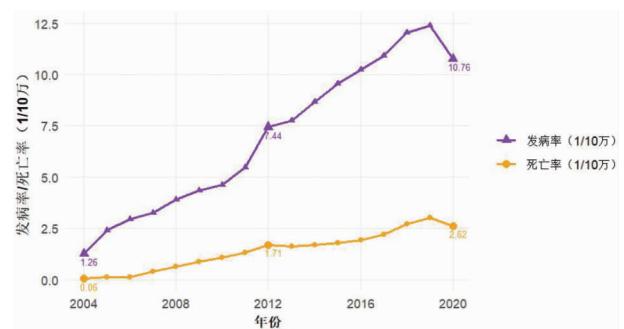


图 1 2004—2020 年中国大陆 31 个省区市 HIV/AIDS 发病率、死亡率

Fig. 1 HIV/AIDS incidence and mortality rates in 31 provincial-level administrative regions of mainland China, 2004-2020

图 2 及 MK 趋势检验结果显示,2004—2020 年全国“ ≥ 65 岁”人口比例显著上升($\tau > 0, P < 0.05$),“0 ~ 14 岁”人口比例显著下降($\tau < 0, P < 0.05$),“15 ~ 64 岁”人口比例变化不显著($P > 0.05$),表明我国老龄化程度持续加深,中年人口比例相对稳定。

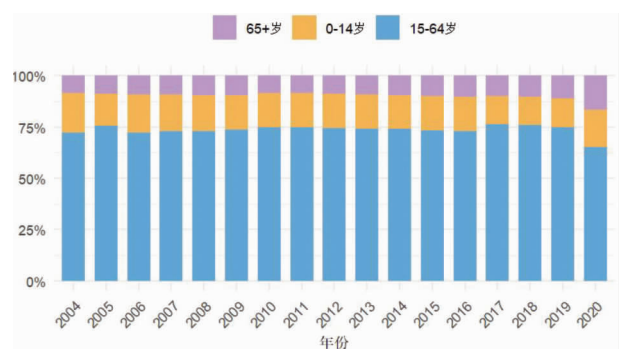


图 2 2004—2020 年中国大陆 31 个省区市人口年龄结构占比百分条图

Fig. 2 Percentage bar chart of population age structure in 31 provincial-level administrative regions of mainland China, 2004-2020

图 3 结果显示,不同省份 HIV/AIDS 发病率和死亡率在时间维度上呈不同变化趋势,空间分布差异显

著,风险较高区域主要集中在新疆、四川、重庆、贵州、云南和广西,并呈明显聚集分布。

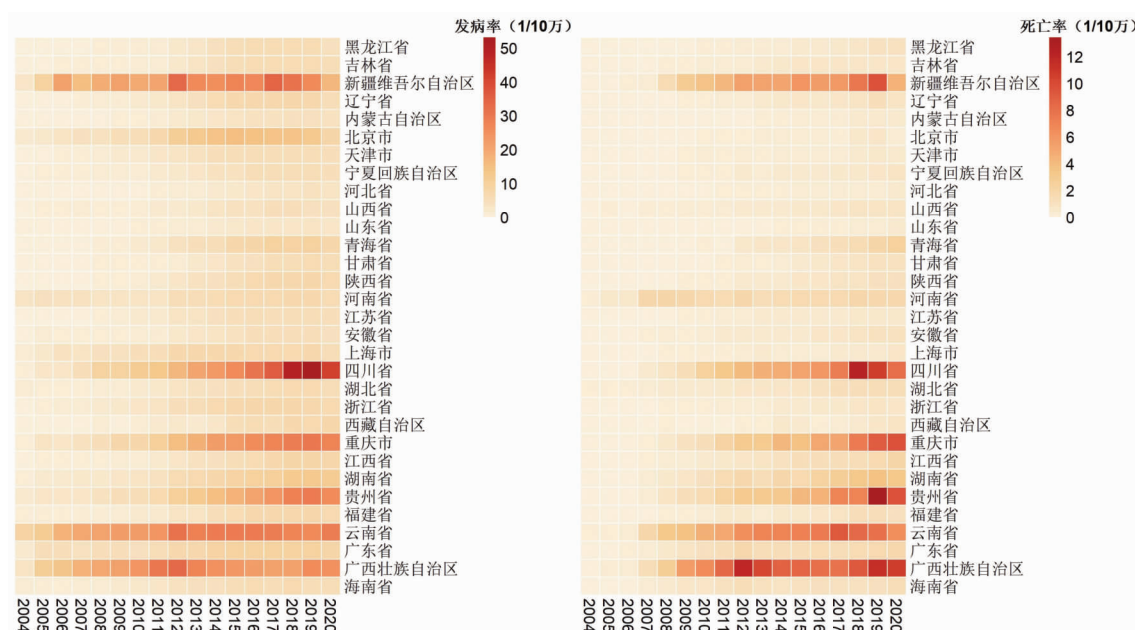


图3 2004—2020 年中国大陆 31 个省区市 HIV/AIDS 发病率、死亡率时空热图

Fig. 3 Spatiotemporal heat map of HIV/AIDS incidence and mortality rates in 31 provincial – level administrative regions of mainland China, 2004 – 2020

表 1 全局空间自相关分析显示,2004—2020 年中国大陆 31 个省区市三个年龄段人口占比与 HIV/AIDS 发病率和死亡率均呈现显著的全局空间自相关

性($P < 0.05$),提示相关变量在地理空间上存在聚集分布特征。

表 1 2004—2020 年中国大陆 31 个省区市三年龄段人口占比与 HIV/AIDS 发病率、死亡率全局莫兰系数

Table 1 Global Moran I statistics for the proportions of three population age groups and HIV/AIDS incidence and mortality rates in 31 provincial – level administrative regions of mainland China, 2004 – 2020

Year	0 ~ 14 岁	15 ~ 64 岁	≥65 岁	HIV/AIDS 发病率	HIV/AIDS 死亡率
2004	0.332 ^a	0.386 ^a	0.278 ^a	0.123 ^b	0.025 ^a
2005	0.225 ^a	0.217 ^a	0.133 ^a	0.161 ^a	0.025 ^b
2006	0.343 ^a	0.446 ^a	0.227 ^a	0.064 ^b	0.010 ^b
2007	0.315 ^a	0.379 ^a	0.250 ^a	0.147 ^b	0.098 ^b
2008	0.312 ^a	0.378 ^a	0.209 ^a	0.159 ^a	0.183 ^a
2009	0.315 ^a	0.424 ^a	0.194 ^a	0.156 ^a	0.205 ^b
2010	0.301 ^a	0.350 ^a	0.251 ^a	0.185 ^a	0.240 ^b
2011	0.278 ^a	0.366 ^a	0.204 ^a	0.205 ^a	0.258 ^b
2012	0.267 ^a	0.328 ^a	0.241 ^a	0.181 ^a	0.261 ^b
2013	0.315 ^a	0.349 ^a	0.222 ^a	0.235 ^a	0.283 ^b
2014	0.264 ^a	0.332 ^a	0.159 ^a	0.274 ^a	0.319 ^a
2015	0.283 ^a	0.286 ^a	0.268 ^a	0.327 ^a	0.334 ^a
2016	0.298 ^a	0.302 ^a	0.246 ^a	0.374 ^a	0.378 ^a
2017	0.184 ^a	-0.026 ^a	0.222 ^a	0.340 ^a	0.467 ^a
2018	0.154 ^a	0.122 ^a	0.210 ^a	0.371 ^a	0.385 ^a
2019	0.068 ^a	0.043 ^a	0.249 ^a	0.391 ^a	0.463 ^a
2020	0.336 ^a	0.307 ^a	0.346 ^a	0.497 ^a	0.508 ^a

注:a $P < 0.05$, b $P < 0.01$ 。

3.2 关联分析 本研究基于贝叶斯时空模型评估三个年龄段人口比例对 HIV/AIDS 发病率和死亡率的

影响,模型 1 为基础模型,模型 2 校正人均 GDP、医疗机构数、人口密度、性别比、受教育率和年平均温度等

混杂因素,结果如表 2 所示,全国层面上,“0~14 岁”人口每增加 1%,HIV/AIDS 死亡相对风险增加 1.1%,“15~64 岁”人口每增加 1%,HIV/AIDS 发病

相对风险减少 0.6%,死亡相对风险减少 1.3%,“≥65 岁”人口每增加 1%,HIV/AIDS 发病相对风险增加 2%,死亡相对风险增加 1.8%。

表 2 2004—2020 年中国大陆 31 个省区市贝叶斯时空模型回归系数值

Table 2 Regression coefficients from the Bayesian spatiotemporal model for 31 provincial-level administrative regions of mainland China, 2004–2020

因变量	自变量	模型 1 RR(95% CI)	模型 2 RR(95% CI)
发病率	Age0~14	1.006(1.001~1.011)	1.003(0.994~1.011)
	Age15~64	0.989(0.984~0.994)	0.994(0.989~0.999)
	Age65+	1.019(1.003~1.034)	1.020(1.006~1.033)
死亡率	Age0~14	1.016(1.007~1.025)	1.011(1.001~1.021)
	Age15~64	0.982(0.976~0.988)	0.987(0.982~0.992)
	Age65+	1.015(1.001~1.030)	1.018(1.004~1.033)

注:模型 1:单因素模型;模型 2:校正了人均 GDP、医疗卫生机构数、人口密度、性别比、受教育率和年平均气温的模型。

3.3 修饰效应 图 4 和图 5 结果显示,男女性别比和受教育率可能对人口老龄化—HIV/AIDS 发病率、死亡率关联存在修饰效应。发病率方面,在男女性别比最低的 Q1 至最高的 Q4 区域,RR 及 95% CI 依次为 1.021(1.008~1.033)、1.019(1.006~1.032)、1.019(1.006~1.032)、1.027(1.014~1.041);在受教育率最低的 Q1 至最高的 Q4 区域,RR 及 95% CI 依次为 1.035(1.022~1.048)、1.035(1.020~1.050)、1.024(1.010~1.038)、1.023(1.010~1.037)。死亡率方面,在男女性别比最低的 Q1 至最高的 Q4 区域,RR 及 95% CI 依次为 1.021(1.009~1.034)、1.021(1.008~1.035)、1.021(1.007~1.035)、1.027(1.013~1.042);在受教育率最低的 Q1 至最高的 Q4 区域,RR 及 95% CI 依次为 1.045(1.028~1.063)、1.042(1.023~1.062)、1.030(1.012~1.048)、1.025(1.008~1.043)。

趋势性检验结果显示,男女性别比对发病率($Z=0.5722$, $P=0.5672$)及死亡率($Z=0.5502$, $P=0.5822$)的线性趋势均无统计学意义;受教育率对发病率的趋势检验未达统计学意义($Z=-1.5060$, $P=0.1321$),对死亡率呈边缘显著的负向趋势($Z=-1.7744$, $P=0.0760$)。

4 讨论

4.1 人口老龄化对 HIV/AIDS 发病及死亡负担的影响机制 校正混杂因素后的模型显示,不同年龄段人口比例与 HIV/AIDS 发病率和死亡率在关联方向和效应强度上存在差异,其中“≥65 岁”人口比例与两者均呈显著正向关联,且其正向效应幅度在三个年龄段中最为突出,提示在人口结构转型背景下,人口老龄化可能在推动 HIV/AIDS 发病及死亡负担上升中发挥更为关键的作用。

从潜在机制看,人口老龄化对 HIV/AIDS 疾病负担的影响可能通过生物学脆弱性、行为特征及疾病管理过程等多重路径共同作用。首先,随着年龄增长,老年人普遍存在免疫功能衰退和慢性炎症状态,包括 CD4⁺T 细胞功能下降、免疫应答减弱及炎症因子持续激活等,这种“免疫衰老”特征可能降低机体对 HIV 感染的防御能力,同时加快 HIV 向 AIDS 的进展,从而提高死亡风险^[16-17]。其次,在行为和社会因素层面,部分老年人性活跃期延长且性观念相对开放,增加了 HIV 传播风险,此外,受到羞耻感和疾病污名化等因素影响,老年人普遍检测意愿较低,易出现检测延迟和干预不足,国外研究表明,年龄越大的患者在 HIV 感染确诊时 CD4 计数越低,部分已处于艾滋病晚期,进一步增加死亡风险^[18-19]。最后,在疾病进展与治疗管理方面,老年人在感染 HIV 后更易受到慢性炎症及 ART 不良反应的叠加影响,罹患心血管疾病、恶性肿瘤等并发症的风险显著增加^[20],在抗病毒治疗的过程中,免疫重建不良、药物不良反应、耐药及治疗依从性下降等问题更为常见,可能进一步加速疾病进展并提高死亡风险^[21]。

相比之下,“0~14 岁”及“15~64 岁”人群的 HIV/AIDS 风险特征不同于老年人群。“0~14 岁”人口比例与 HIV/AIDS 死亡风险的正向关联需谨慎解读,该年龄组并非 HIV 传播的主要高危人群,因此上述关联更可能反映母婴传播、家庭贫困、医疗服务质量与可及性、性健康认知与行为差异等间接因素对总体死亡风险的影响,而不宜被简单视为直接因果关系。“15~64 岁”人群免疫功能和治疗依从性等相对较好,有利于早期发现感染并实施规范管理,从而对整体 HIV/AIDS 疾病负担形成一定的缓冲作用。基于上述分析,未来 HIV 防控策略应进一步加强老年人

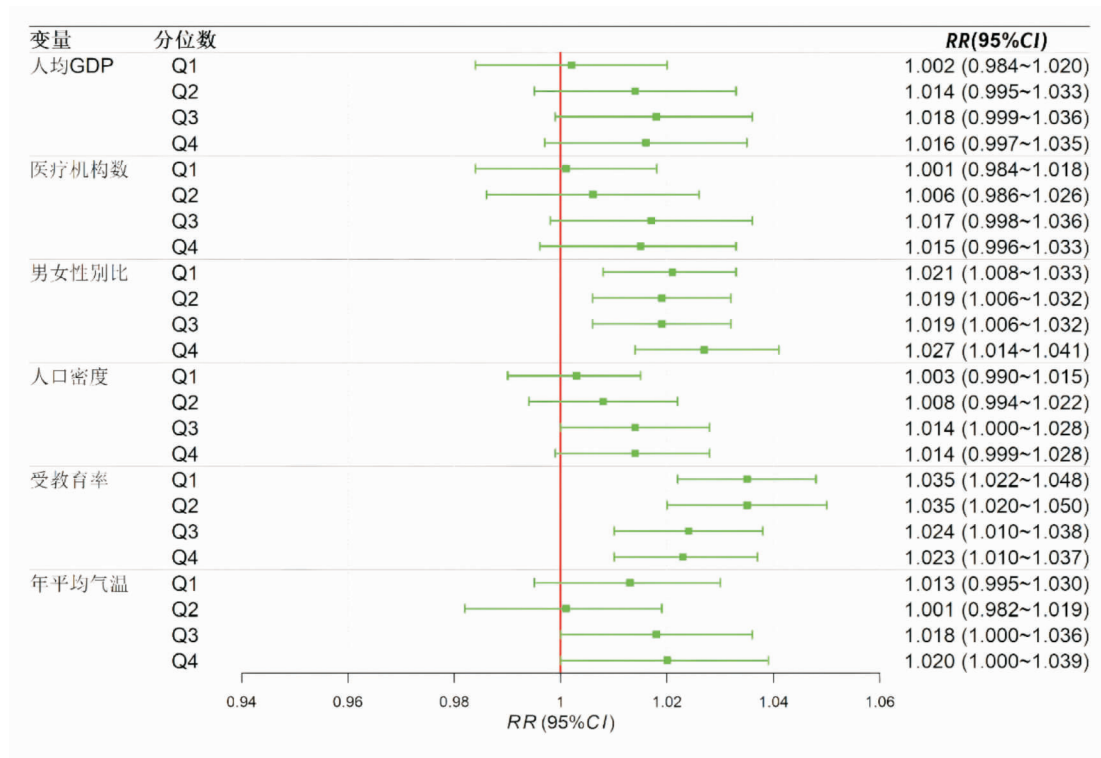


图4 社会经济因素对人口老龄化—HIV/AIDS 发病率关联的修饰效应森林图

Fig. 4 Forest plot of the modifying effects of socioeconomic factors on the association between population ageing and HIV/AIDS incidence

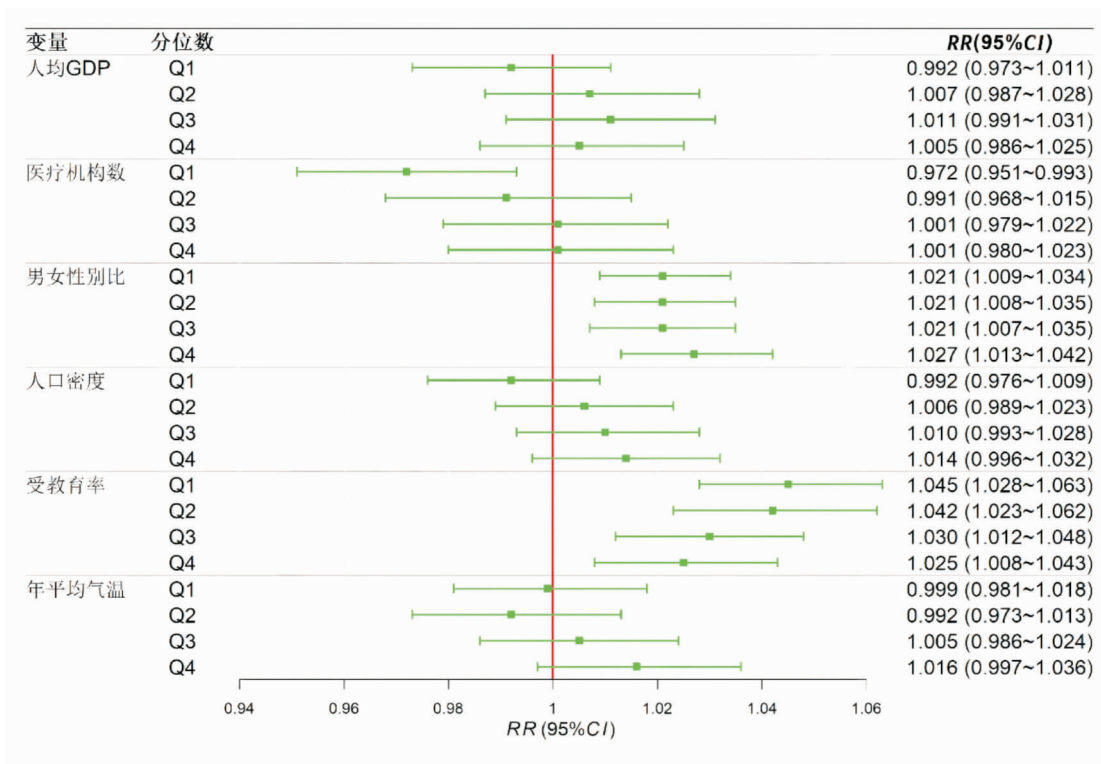


图5 社会经济因素对人口老龄化—HIV/AIDS 死亡率关联的修饰效应森林图

Fig. 5 Forest plot of the modifying effects of socioeconomic factors on the association between population ageing and HIV/AIDS mortality

群的早期检测、规范化治疗和综合管理,针对老年 HIV/AIDS 患者的晚发现、多病共存及治疗依从性等

问题,制定更加精准、连续的干预措施,以降低老龄化背景下 HIV/AIDS 的发病及死亡风险。

4.2 性别比与受教育率对人口老龄化与 HIV/AIDS 关联的影响机制 作为一种具有时空特征的传染病, HIV/AIDS 流行受多种社会经济因素影响。本研究发现,在不同男女性别比和受教育率分层中,人口老龄化与 HIV/AIDS 发病率及死亡率均呈显著正向关联,提示老龄化效应在各分组中稳健存在。趋势性检验结果显示,男女性别比对发病率及死亡率的线性修饰作用不显著,而受教育率仅在死亡率中呈边缘显著的负向趋势,表明两者可能在一定程度上调节老龄化与 HIV/AIDS 关联,但跨组线性梯度有限。相比之下,其他社会经济变量各分组内老龄化效应多数未达到统计学显著性,表明其分组内效应不稳健,因此在讨论老龄化修饰作用时,男女性别比和受教育率可能具有一定的解释意义和潜在政策价值。

从人群结构与风险特征来看,男性为 HIV 高风险群体。既往研究表明^[22],中国男性 HIV/AIDS 发病率、死亡率普遍高于女性,这既与男性人口基数较大有关,也与高危性行为 and 吸毒等风险行为在男性中更为常见有关,在老龄化背景下,这一性别差异在老年人群中同样存在,相较于老年女性绝经后性需求明显下降,部分老年男性仍保持性活跃状态且对 HIV/AIDS 风险认知不足,更易发生无保护的商业性行为^[23],从而增加感染风险。此外,老年女性在 ART 治疗依从性和疗效方面普遍优于老年男性,使得老年男性 HIV 感染者的死亡风险受年龄影响更为明显^[24],进一步放大了老龄化对 HIV/AIDS 死亡风险的影响。同理,低受教育率本身就是 HIV/AIDS 的重要风险因素,其通过影响健康信息获取、风险认知及行为形成发挥作用。在受教育率较低的地区,老年人获取 HIV/AIDS 防治知识的渠道有限,对传播途径和感染风险认知不足,部分老年人误以为无生育能力或绝经后无需采取防护措施,从而增加了感染风险^[25],同时,健康素养不足也可能导致检测意识薄弱,部分老年患者在出现严重临床症状后才首次就医,延误 ART 启动并影响治疗效果,进一步加重 HIV/AIDS 的死亡负担。

综上所述,在人口老龄化背景下, HIV 防控策略应重点关注老年男性及低教育水平地区的老年人群,并强化与现行公共卫生政策的衔接。一是将老年男性 HIV 主动检测纳入“老年人健康管理”项目,在知情同意下开展 HIV 抗体检测,建立“检测—转介—治疗”闭环管理,将相关指标纳入绩效考核。二是将低教育水平地区的老年 HIV 健康教育融入“健康乡村”建设,依托驻村工作队和村级服务平台,采用方言广

播、案例教学等方式纠正认知误区。三是在重点地区推动卫健、民政等多部门协同,优先对丧偶、独居等高危老年男性开展主动筛查与干预,提高 HIV 检测覆盖率和治疗及时性。

4.3 研究局限性 本研究仍存在一定的局限性。首先,基于报告的 HIV/AIDS 监测数据可能存在一定程度的漏报,从而低估实际感染和死亡水平,未来研究可结合哨点监测或死亡登记等多源数据进行交叉验证;其次,本研究以省级行政单元为分析尺度,难以揭示省内不同地区的空间异质性,后续可在数据可及的前提下采用更精细的空间单元,构建多尺度空间模型;再次,尽管本研究已控制多项社会经济与人口学因素,但仍无法涵盖所有可能影响 HIV/AIDS 发病率和死亡率的潜在变量,结果可能存在偏倚,未来可进一步引入更多相关变量加以完善;最后为避免多重共线性问题,本研究分别将不同年龄段人口占比纳入模型进行分析,但无法控制其它年龄段占比可能引起的混杂问题,未来可考虑采用其它老龄化指标验证人口年龄结构对 HIV/AIDS 的影响。

5 结 论

本研究基于贝叶斯时空模型的分析结果表明,“≥65 岁”人口比例的上升显著提高了 HIV/AIDS 发病及死亡的相对风险,且男女性别比和受教育率可能在一定程度上调节老龄化与 HIV/AIDS 关联。因此随着我国人口老龄化进程的持续加快,在老龄化程度较高的省份及其邻近区域,特别是男性人数较多且受教育率较低的地区,建议将艾滋病筛查常态化纳入老年群体健康管理体系,强化抗病毒治疗的可及性与依从性,完善老年感染者的长期健康管理服务。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

- [1] 黄希文,张有中. 中国人口老龄化的影响因素分析与预测[J]. 老龄化研究, 2022, 9(3): 26–34.
Huang XW, Zhang YZ. Analysis and prediction of influencing factors of population aging in China[J]. Aging Research, 2022, 9(3): 26–34. (In Chinese)
- [2] Bigras N, Popova N, Pedneault L, et al. Sexual well-being among partnered adults and couples over 60: a scoping review[J]. Sex Med Rev, 2024, 12(4): 611–622.
- [3] Carter A, Zhang M, Tram KH, et al. Global, regional, and National burden of HIV/AIDS, 1990–2021, and forecasts to 2050, for 204 countries and territories: the Global Burden of Disease Study 2021[J]. Lancet HIV, 2024, 11(12): e807–e822.
- [4] Hsieh E, Polo R, Qian HZ, et al. Intersectionality of stigmas and health-related quality of Life in People ageing with HIV in China, Europe, and Latin America[J]. Lancet Healthy Longev, 2022, 3

- (3): e206 – e215.
- [5] Fu L, Tian T, Wang B, et al. Global, regional, and National burden of HIV and other sexually transmitted infections in older adults aged 60 – 89 years from 1990 to 2019; results from the Global Burden of Disease Study 2019[J]. *Lancet Healthy Longev*, 2024, 5(1): e17 – e30.
- [6] 关明玥,秦倩倩,金怡晨,等. 2013—2021 年我国报告 60 岁及以上 HIV 感染者死亡情况及变化趋势分析[J]. *中华流行病学杂志*, 2023, 44(11): 1679 – 1685.
- Guan MY, Qin QQ, Jin YC, et al. Analysis on mortality and change trend of HIV – infected patients aged 60 years and older reported in China, 2013 – 2021 [J]. *Chinese Journal of Epidemiology*, 2023, 44(11): 1679 – 1685. (In Chinese)
- [7] 金怡晨,汤后林,秦倩倩,等. 2015—2022 年我国报告 60 岁及以上 HIV 感染者流行特征和变化趋势[J]. *中华流行病学杂志*, 2023, 44(11): 1673 – 1678.
- Jin YC, Tang HL, Qin QQ, et al. Epidemiological characteristics and trend of HIV – infected patients aged 60 years and older reported in China, 2015 – 2022 [J]. *Chinese Journal of Epidemiology*, 2023, 44(11): 1673 – 1678. (In Chinese)
- [8] Yuan FS, Liu L, Liu LH, et al. Epidemiological and spatiotemporal analyses of HIV/AIDS prevalence among older adults in Sichuan, China between 2008 and 2019: a population – based study[J]. *International Journal of Infectious Diseases*, 2021, 105: 769 – 775.
- [9] Feng SS, Cheng WT, Li X, et al. Contributions of the elderly to the transmission of HIV/AIDS in China[J]. *Infectious Disease Modelling*, 2025, 10(4): 1488 – 1506.
- [10] Ugwu CLJ, Ncayiyana JR. Spatial disparities of HIV prevalence in South Africa: Do sociodemographic, behavioral, and biological factors explain this spatial variability? [J]. *Front Public Health*, 2022, 10: 994277.
- [11] 李田,代雨岑,李佳蔚,等. 贝叶斯时空模型在传染病数据时空分析中的研究进展[J]. *现代预防医学*, 2022, 49(16): 2908 – 2912, 2917.
- Li T, Dai YC, Li JW, et al. Research progress of bayesian spatio – temporal model in spatio – temporal analysis of infectious disease data[J]. *Modern Preventive Medicine*, 2022, 49(16): 2 908 – 2912, 2917. (In Chinese)
- [12] Li J, Zhang R, Lan G, et al. The distribution and associated factors of HIV/AIDS among youths in Guangxi, China, from 2014 to 2021: bayesian spatiotemporal analysis[J]. *JMIR Public Health Surveill*, 2024, 10: e53361 – e53361.
- [13] Thalia OP. The intersection of HIV and social determinants of health: a comprehensive review[J]. *NIJ RMS*, 2024, 5(3): 53 – 58.
- [14] 刘晟,周丙锋,谢新水,等. 中国 HIV/AIDS 发病率时空分异和宏观影响因素研究[J]. *现代预防医学*, 2024, 51(1): 1 – 7.
- Liu S, Zhou BF, Xie XS, et al. Study on spatial – temporal differentiation and macro influencing factors of HIV/AIDS incidence in China[J]. *Modern Preventive Medicine*, 2024, 51(1): 1 – 7. (In Chinese)
- [15] Lieber M, Chin – Hong P, Whittle HJ, et al. The synergistic relationship between climate change and the HIV/AIDS epidemic: a conceptual framework[J]. *AIDS and Behavior*, 2021, 25(7): 2266 – 2277.
- [16] Chen R, Zou J, Chen J, et al. Immune aging and infectious diseases[J]. *Chin Med J(Engl)*, 2024, 137(24): 3010 – 3049.
- [17] 马秀霞,孟鹏飞,宋夕元,等. HIV/AIDS 患者衰老研究进展[J]. *中国艾滋病性病*, 2026, 32: 3.
- Ma XX, Meng PF, Song XY et al. Research progress on aging in patients with AIDS[J]. *Chinese Journal of AIDS & STD*, 2026, 32: 3. (In Chinese)
- [18] Lodi S, Phillips A, Touloumi G, et al. Time from human immunodeficiency virus seroconversion to reaching CD4 + cell count thresholds <200, <350, and <500 Cells/mm³: assessment of need following changes in treatment guidelines [J]. *Clinical Infectious Diseases*, 2011, 53(8): 817 – 825.
- [19] Dos RL, De OA, Dos RL, et al. Social representations of elderly people about living with HIV/AIDS [J]. *Arch Gerontol Geriatr Res*, 2023, 8(1): 15 – 21.
- [20] Mbalinda SN, Lusota DA, Muddu M, et al. Ageing with HIV: challenges and coping mechanisms of older adults 50 years and above living with HIV in Uganda [J]. *BMC Geriatrics*, 2024, 24(1): 95.
- [21] 陈慧,贾文君,王莉鸿,等. 中老年 HIV/AIDS 歧视感知对抗病毒治疗依从性的作用及社会支持的修饰效应分析[J]. *现代预防医学*, 2024, 51(14): 2513 – 2516, 2580.
- Chen H, Jia WJ, Wang LH, et al. Modification effect of social support level on the perception of discrimination against HIV and adherence to antiviral therapy among middle – aged and elderly People living with HIV [J]. *Modern Preventive Medicine*, 2024, 51(14): 2513 – 2516, 2580. (In Chinese)
- [22] 杨婷婷,彭纪镒,卢城城,等. 1990—2019 年中国艾滋病疾病负担分析[J]. *卫生软科学*, 2024, 38(11): 79 – 84.
- Yang TT, Peng JZ, Lu CC, et al. Analysis of burden of disease of HIV/AIDS in China from 1990 to 2019 [J]. *Soft Science of Health*, 2024, 38(11): 79 – 84. (In Chinese)
- [23] 江光熨,吴国辉,裴迎新,等. 中国老年人群 HIV 感染现状及行为学特征研究进展[J]. *实用预防医学*, 2019, 26(4): 510 – 513.
- Jiang GJ, Wu GH, Pei YX, et al. Current status of HIV infection and research progress on behavioral characteristics among elderly people in China [J]. *Practical Preventive Medicine*, 2019, 26(4): 510 – 513. (In Chinese)
- [24] Gao DS, Zou ZY, Dong B, et al. Secular trends in HIV/AIDS mortality in China from 1990 to 2016: gender disparities[J]. *PLOS One*, 2019, 14(7): e0219689.
- [25] Tan T, Li S, Bai C, et al. Prevalence and risk factors of high – risk sexual behavior among elderly men with HIV infection in Chongqing, China[J]. *Scientific Reports*, 2025, 15(1): 8053.

收稿日期: 2025-09-18