

· 流行病与统计方法 ·

基于动力学模型的贵阳市肺结核发病预测及控制策略研究

王林¹, 汪俊华¹, 黄延², 杨珂维¹, 陈洪², 张彬兵², 张敏², 刘珊², 梁文艳¹, 潘春柳^{1,2}

1. 贵州医科大学公共卫生与健康学院, 环境污染与疾病监控教育部重点实验室, 贵州 贵阳 561113;

2. 贵阳市疾病预防控制中心, 贵州 贵阳 550081

摘要:目的 拟合并预测贵阳市肺结核发病趋势, 评估是否能完成终止结核病战略(End TB Strategy)2035 年目标(发病率 <10/10 万), 为相关部门优化防控措施提供参考依据。方法 基于 2010—2024 年贵阳市匿名化肺结核病例数据, 在剔除发病时间缺失及重复记录后, 结合人口学与流行病学资料构建传播动力学模型。综合考虑肺结核潜伏期、感染进展及病例发现情况, 采用贝叶斯方法估计传播参数, 并预测 2025—2050 年发病趋势。通过参数优化策略评估不同防控措施的效果。结果 2010—2019 年拟合平均绝对百分比误差(mean absolute percentage error, MAPE)=5.02%, $R^2=0.86$ 。预测结果显示, 现有策略下贵阳市不能完成 2035 年肺结核控制目标, 但通过调整策略, 贵阳市能提前二年完成 2035 年肺结核控制目标。结论 加强患者主动发现与潜伏感染者预防性治疗, 贵阳市具有完成终止结核病战略 2035 年目标的可能性。

关键词: 肺结核; 贵阳市; 动力学模型; 控制策略

中图分类号: R521 文献标志码: A 文章编号: 1003-8507(2025)17-3099-06

DOI: 10.20043/j.cnki.MPM.202503578

Incidence forecasting and control strategies for tuberculosis in Guiyang City based on a dynamic model

WANG Lin*, WANG Jun-hua, HUANG Yan, YANG Ke-wei, CHEN Hong, ZHANG Bin-bing, ZHANG Min, LIU Shan, LIANG Wen-yan, PAN Chun-liu

*School of Public Health, Guizhou Medical University, the key Laboratory of Environmental Pollution Monitoring and Disease Control, Ministry of Education, Guiyang, Guizhou 561113, China

Abstract: Objective To fit and predict the incidence trend of pulmonary tuberculosis in Guiyang City, assess whether the End TB Strategy target for 2035 (incidence <10 per 100 000 population) can be achieved, and provide a reference for relevant departments to optimize prevention and control measures. **Methods** Based on the anonymized tuberculosis case data from Guiyang City between 2010 and 2024, after excluding records with missing onset times and duplicate entries, a transmission dynamics model was constructed by integrating demographic and epidemiological data. Taking into account the latent period of tuberculosis, infection progression, and case detection, the Bayesian method was employed to estimate transmission parameters and predict incidence trends from 2025 to 2050. The effectiveness of various control measures was evaluated through parameter optimization strategies. **Results** The model achieved a mean absolute percentage error (MAPE) of 5.02%, and an R^2 of 0.86 in fitting the 2010—2019 data. Projections indicated that under current strategies, Guiyang City would fail to meet the 2035 TB control target. However, with optimized interventions, the target could be achieved two years ahead of schedule. **Conclusion** Enhancing active case detection and preventive treatment for latent TB infections could enable Guiyang City to reach the End TB Strategy's 2035 goal.

Keywords: Tuberculosis; Guiyang City; Dynamic model; Control strategy

肺结核(tuberculosis)每年在全球造成约 160 万病例死亡,作为全球重大公共卫生挑战,其防控成效直接影响联合国可持续发展目标的实现。根据世界卫生组织(WHO)的《2024 年全球结核病报告》^[1],我国

在 30 个结核病高负担国家中估算新发患者数 74.1 万例,位居全球第三。耐药结核病负担占全球 14%。西部地区疾病负担尤为突出,云贵高原地区年均发病率高于东部沿海地区,其中贵州省以 117/10 万的发病率位列西部第二,形成显著的“地理疾病热点”现象^[2]。

WHO 制定的“终止结核病战略”(End TB Strategy)^[3]确立了二阶段里程碑目标:2035 年发病率降至 10/10 万以下,2050 年实现消除目标(发病率<

基金项目:贵州省卫生健康委员会科学技术基金(Gzwbj2024-234)

作者简介:王林(1999—),男,硕士在读,研究方向:传染病传播动力学建模与监测预警模型构建优化

通信作者:潘春柳, E-mail: 413655974@qq.com

1/10 万)。传染病监测报告系统显示,2024 年贵阳市肺结核报告发病率为 56.2/10 万,距离 2035 年目标仍存在近 6 倍差距。且贵阳地区肺结核患者家庭发生灾难性卫生支出的比例较高^[4],疾病负担较重。基于以上背景,本研究通过 2010—2019 年贵阳市肺结核报告情况,考虑肺结核可变潜伏期^[5]、结核杆菌自身清除^[6]及结核病发现^[7]采用动力学模型与马尔科夫链蒙特卡洛相结合的方法,在市级层面整合贵阳市发病参数。预测未来贵阳市肺结核传播情况,并评估不同策略的防控效果,为贵阳市及其他高疫情地区肺结核防控策略优化提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 资料来源 本研究数据来源于中国疾病预防控制中心信息系统 2010—2024 年贵阳市肺结核病例,均符合《WS 288—2017》诊断标准,将病案进行匿名化处理剔除发病时间缺失、重复报卡的记录后纳入分析,

人口学数据来自《贵阳市统计年鉴》,模型参数取自于公开发表的研究成果。见表 1。

1.2 模型构建 根据肺结核的传播特点,将肺结核相关的总人群(N)分为五个类别:易感者(S)、潜伏感染者(E)、发现并报告的活动性肺结核患者(I)、未发现的活动性肺结核患者(J)、肺结核康复者(R),其中 $N=S+E+I+J+R$ 。易感者 S 通过接触 I, J 成为潜伏感染者进展为 I, J 两类活动性肺结核患者(进展率 k),发现后的活动性肺结核患者治疗后成为康复者治愈率(ω),未发现的肺结核患者每年具有一定的速率(θ)进入被报告管理的 I 类患者。模型假设所有人群混合均匀,个体之间的相互接触可能性相等,人口的变动仅来源于周期内的出生(Λ)、自然死亡(μ_0)、肺结核患者因病死亡($d1/d2$),且感染结核杆菌后可能因自身清除结核杆菌后不再进展为活动性肺结核。根据上述假设,建立如图 1 所示的肺结核传播模型。

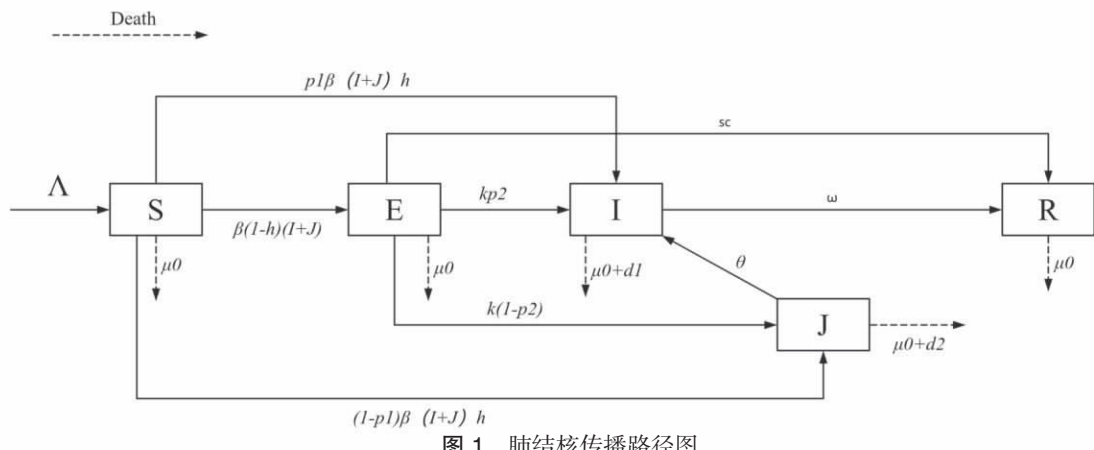


图 1 肺结核传播路径图
Figure 1 Diagram of tuberculosis transmission pathway

模型可写作以下系统

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= \Lambda - \mu_0 S - S\beta(I+J) \\ \frac{dE}{dt} &= S\beta(I-h)(I+J) - scE - \mu_0 E - kE \\ \frac{dJ}{dt} &= k(1-p2)E + S(1-p1)(I+J)h - (\mu_0 + d2)J - \theta J \\ \frac{dI}{dt} &= kp2E + p1(I+J)\beta h + \theta J - \omega I - (\mu_0 + d1)I \\ \frac{dR}{dt} &= \omega I + scR - \mu_0 R \end{aligned}$$

模型中不考虑肺结核具体患病类型,研究的时间单位为一年,在研究周期内,模型参数被视为定值。

1.3 模型拟合 模型中仓室初始值来源于贵阳本地数据, J 的初始值来源于第五次全国肺结核流行病学调查贵阳流行点。参数 $\beta, K, h, p1, p2, \theta$ 基于贵阳市本地发病数据,通过马尔科夫链蒙特卡洛(Markov chain Monte Carlo, MCMC)算法结合贵阳市肺结核疫

情进行估计,其余参数来源于相关研究,2020—2022 年报告数因受 COVID-19 疫情防控而出现异常降低,为了保证建模的准确性,未将在此期间报告数纳入拟合,2023、2024 年采取了大规模筛检,为科学反应肺结核在贵阳市传播动态,也未纳入模型拟合过程。其中 $\beta, K, h, p1, p2, \theta$ 的先验分布分别为 $10^{-7} \sim 10^{-6}$ 、 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 、 $0.01 \sim 0.05$ 、 $0.001 \sim 0.5$ 、 $0.5 \sim 0.6$ 、 $0.01 \sim 0.1$ 的均匀分布。拟合精度使用平均绝对百分比误差(mean absolute percentage error, MAPE)与决定系数 R^2 进行评价。见图 2。

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\hat{y}_i - y_i}{y_i} \right|$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

其中 \hat{y} 为指定年份拟合值, y_i 为真实值, \bar{y} 为真实值的均值。

表 1 公式中参数定义及取值

Table 1 Parameter definitions and values

参数	含义	取值 /yr	来源
Λ	总人口输入常数	1.595×10^5	贵阳市统计年鉴 ^[8]
μ_0	自然死亡率	4.72×10^{-3}	贵阳市统计年鉴 ^[8]
β	平均传播系数	4.45×10^{-8}	MCMC 估计
p_1	快速潜伏期中进展为 I 的比例	5.49×10^{-5}	MCMC 估计
h	快速潜伏期比例	0.05	文献估计 ^[9]
k	潜伏感染者向活动性肺结核患者的进展率	4.35×10^{-3}	MCMC 估计
d_1	I 类人群因病死亡率	1.9×10^{-3}	文献估计 ^[10]
d_2	J 类人群因病死亡率	0.04	文献估计 ^[11]
ω	肺结核治愈率	0.90	中国疾病预防控制中心信息系统
p_2	慢速潜伏期中进展为 I 的比例	0.56	MCMC 估计
sc	结核杆菌自身清除率	0.03	文献估计 ^[6]
θ	J→I 的进展率	3.87×10^{-2}	MCMC 估计

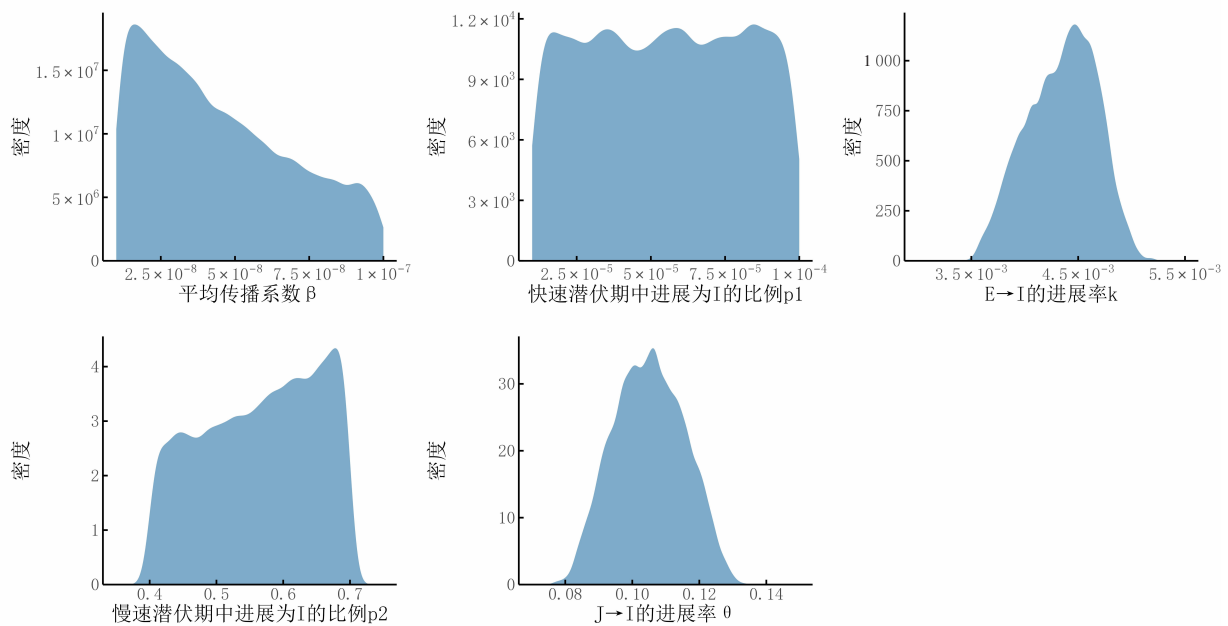


图 2 MCMC 采样的模型参数后验分布图

Figure 2 Posterior distribution of model parameters for MCMC sampling

1.4 统计分析 用 R 4.1.1 软件进行模型的构建、分析及预测。BayesianTools 包用于参数估计，采样函数 DEZs, deslove 用于微分方程求解，ggplot2、gridExtra 包用作结果可视化。

2 结果

2.1 贵阳市肺结核发病预测 2010—2019 年，贵阳市发病总体呈下降趋势。2020—2022 年与其他地区报告情况一致，由于 COVID-19 期间实施的防控措施呈现大幅降低。2023—2024 年，贵阳市由于开展大规模主动筛检导致报告数升高。利用表 1 中参数对模型 2010—2019 年发病数进行拟合。2010—2019 年拟合值整体拟合程度较好 $R^2=0.863$, $MAPE=5.02\%$ 。

基于拟合的参数，以贵阳市 2024 年发病情况预测 2050 年贵阳市肺结核发病情况。图 3 显示，主动

筛检的实施在短期内提升了贵阳市肺结核发病数，但减少了未来的发病人数。在当前策略下，2024—2050 年贵阳市肺结核发病将处于持续下降状态，但并不能完成 2035 年肺结核控制目标(发病率 < 10/10 万)。

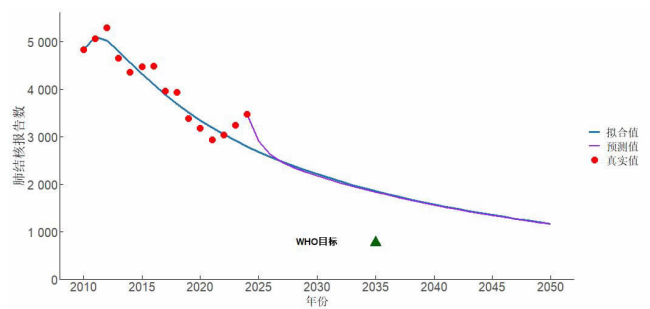


图 3 2010—2050 年贵阳市肺结核发病预测

Figure 3 Prediction of tuberculosis incidence in Guiyang City from 2010 to 2050

2.2 调整策略对肺结核发病影响 模型结果显示,贵阳市到即使到 2050 年也不能完成 WHO 2035 年肺结核控制目标。需要对策略进行调整,模型中可供调整的参数为 β 、 k 、 θ 、 ω 。参数分别对应传染源移出、潜伏感染者预防性治疗、病例发现、治愈率提升等策略。以 4 分位数为调整的界值,参数 β 、 k 做降低调整, θ 、 ω 做升高调整, θ 最高调整为原来的两倍,治愈率最

高至 98%。调整对应的参数,评价不同策略对肺结核传播的影响。降低 β 、 k 对贵阳市未来肺结核发病情况的改善明显。提高 θ 后,报告发病短期内迅速上升,但在 2038 年后,更高的病例发现降低了肺结核发病数。分别提高治愈率至 95%、98%,较高的治愈率对于未来的发病情况改善较好。但单独的调整其中一项策略并不能完成 WHO2035 年目标。见图 4。

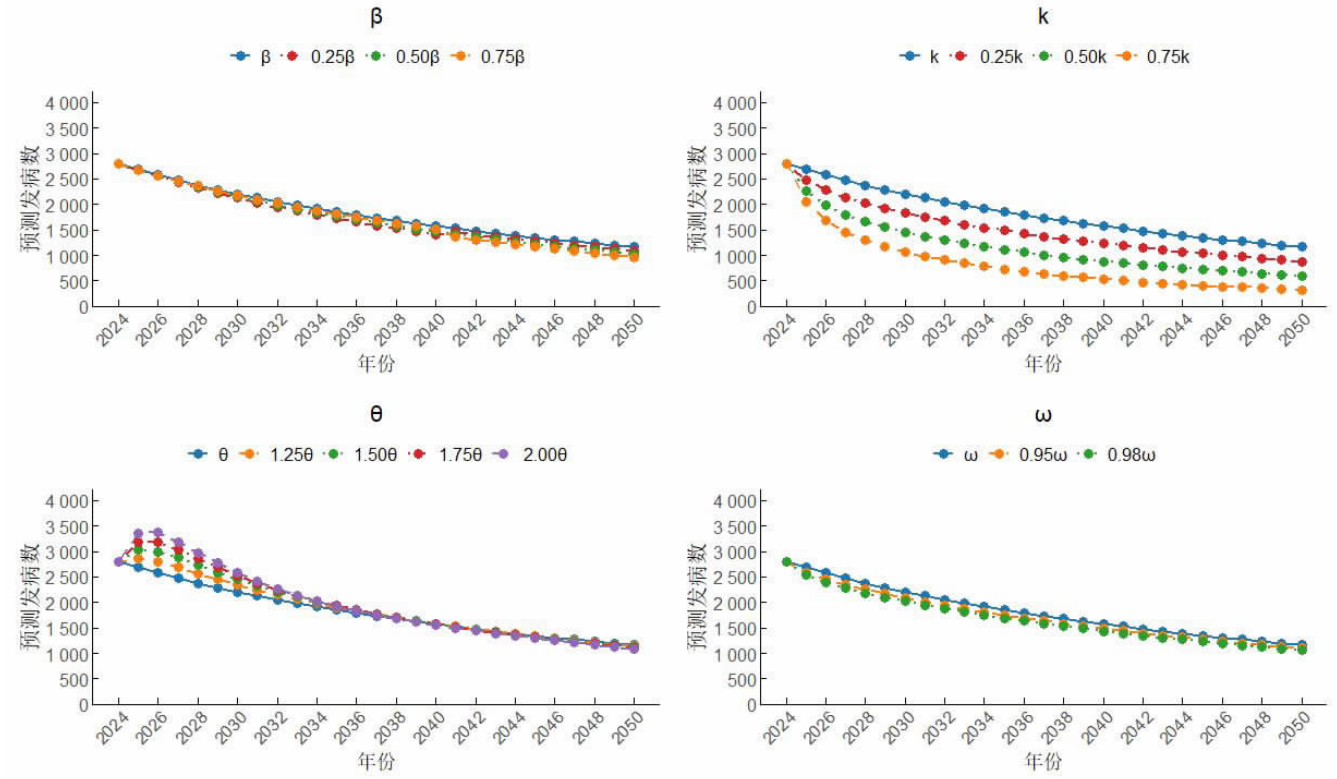


图 4 调整策略对贵阳市肺结核发病的影响

Figure 4 The impact of adjustment strategies on the incidence of tuberculosis in Guiyang City

参数 β 、 k 、 θ 对贵阳市肺结核传播的动态过程具有重要影响。考虑到现有策略已达到了 90% 治愈率工作目标,故不对治愈率进行调整。组合不同的 β 、 k 、 θ 对 2024 年后贵阳市肺结核发病情况进行预测,进一步评估不同策略对疾病传播的影响。

β 、 k 降低 25%, θ 提升 25% 时,贵阳市将在 2047 年完成 2035 年肺结核控制目标;当 β 、 k 降低 50%, θ 提升 50% 时,贵阳市将在 2039 年完成 2035 年肺结核控制目标; β 、 k 降低 75%, θ 提升 75% 时候,贵阳市能提前二年完成 2035 年肺结核控制目标。见图 5。

3 讨论

本研究选择基于仓室的动力学模型 (SEIJR 模型) 进行肺结核传播模拟,主要因其能够整合肺结核传播中的关键动态特征,包括潜伏感染者的自然转归、未发现病例的持续传播风险,以及针对病例发现而导致的人群中传染源减少。相较于传统统计模型,动力学模型通过微分方程量化不同防控措施对传播

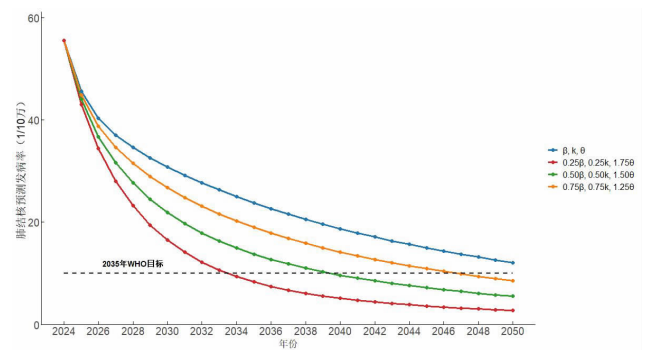


图 5 组合策略对贵阳市肺结核发病的影响

Figure 5 The impact of combine strategies on the incidence of tuberculosis in Guiyang City

链的阻断效果,为策略优化提供了机制性解释。这一方法尤其适用于贵阳市这类高疫情地区,需精细化评估多因素叠加的防控效果。

模型较好的捕捉了贵阳市肺结核疫情的传播动态。在之前研究中,针对贵阳市肺结核疫情采用的多种时间序列方法虽能短期拟合发病趋势^[12],但均未实

现长期预测(如 2035 年目标评估),且拟合精度(MAPE 普遍 $>10\%$)低于本研究的 5.02%。此外,基于全国数据的建模研究虽能反映整体趋势^[6],但忽视了国内各地区结核病流行的异质性。全国统一参数无法反映不同地区的传播特征差异,对于各地区之间制定防控措施的指导意义有限。对于高疫情地区,若采用全国统一参数进行预测,可能会错误估计当地实际疫情发展趋势,导致防控资源配置不当,影响防控效果。本研究在市级层面评估组合策略对终止结核病目标的加速效果,为其他高负担地区提供了可操作的优化路径。

在当前的防控策略下,贵阳市距离 2035 年结核病控制目标尚有差距,发病率下降的速度不能达到设定的目标要求。其中主要的原因可能是存在大量的潜伏感染者与未检出的传染源,根据第五次结核病流行病学调查^[13]结果显示,2010 年贵阳市肺结核患者存量估算为 33 862 例,但检出并报告的仅 4 832 例,发现率不足 15%。

在对模型的参数分析中,提升患者发现速率(θ)与降低传播率(β)能取得较好的效果,以上路径可通过减少人群中传染源以及隔离已发现的传染源实现。自 2023 年来,贵阳市开展了针对学生及老年人的大规模人群筛查,且已建立 7 个覆盖所有区(市、县)的肺结核病例集中住院治疗点。2024 年贵阳市老年人群肺结核筛查工作中,总体检出率为 50/10 万,部分地区老年人检出率高达 294.78/10 万,提示人群中可能仍然存在大量的未报告的传染源,然而,鉴于全人群筛查策略在成本效益和可操作性层面几乎很难实现^[14]。为移除更多的传染源,贵阳市应加强重点人群筛查,扩大筛查群体,同时政府需提供政策和资金支持以保障筛查工作的可持续性。

防止潜伏感染者进展为肺结核患者对肺结核控制具有明显效果,这与其他的研究一致^[15]。我国存在大量的潜伏感染者,潜伏性结核感染(latent tuberculosis infection, LTBI)患病率约 18.1%^[16]。降低进展率主要通过预防性治疗实现,但预防性治疗在实施过程中存在诸多难点。首先,需从人群中诊断 LTBI 患者。目前,LTBI 的诊断主要依赖结核菌素皮肤试验(TST)和干扰素- γ 释放试验(IGRA)。然而,这些检测成本较高且无法准确区分潜伏感染与活跃感染^[17]。其次,预防性治疗依从性差。尽管预防性治疗能够有效降低 LTBI 进展为活动性结核的风险,但治疗过程通常较长(一般为 3 个月到 6 个月)^[18],且药物治疗过程中可能出现副作用。长期用药会导致 LTBI 患者中断治疗^[19]。部分患者对潜伏性感染的风险认识不足,往往不参与预防性治疗。贵阳市在 2023—2024 年主

动筛查工作中,对 272 770 位学生采取结核菌素皮肤试验,共检出活动性结核患者 113 例,检出潜伏感染者 6 858 例,仅 79 例接受了预防性治疗,接受率仅 1%。要达成 2035 年终止结核病的目标,贵阳市必须通过多渠道宣传教育,提升公众对预防性治疗的认知及接受度。同时,优化结核病防控体系,增强基层医疗机构的诊断和治疗能力,更早发现并及时干预潜在的结核病患者。

本研究采用动力学模型较准确地模拟了贵阳市肺结核的传播动态,但仍存在一定局限性。首先,受限于动力学模型基于均匀混合人群、恒定传播率等简化假设,未能充分考虑现实中的社交网络异质性和个体行为差异。其次,模型对无症状传播、菌株变异、防控措施依从性差异等复杂因素的模拟能力有限。最后,模型假设系统相对封闭,未完全纳入人口流动、季节变化等外部因素的影响,因此在疫情突发或防控政策快速调整时,预测结果可能与实际存在较大差异。

贵阳市在现有策略下不能完成 2035 年终止结核病目标,需要对现有策略进行调整。在提升传染源检出与预防性治疗的背景下,贵阳市仍具有完成 2035 年终止结核病目标的可能。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

- [1] World Health Organization. Global tuberculosis report 2024[EB/OL]. [2025-06-23]. <https://www.who.int/teams/global-tuberculosis-programme/tb-reports/global-tuberculosis-report-2024>.
- [2] 王歆尧,姜美丽,庞元捷,等. 中国结核病疾病负担现状[J]. 中华流行病学杂志,2024,45(6):857-864.
Wang XY, Jiang ML, Pang YJ, et al. Current status of tuberculosis burden in China [J]. Chinese Journal of Epidemiology, 2024, 45(6): 857-864. (In Chinese)
- [3] World Health Organization. The end TB strategy [EB/OL]. [2025-06-26]. <https://www.who.int/publications>.
- [4] 梁祖花,潘春柳,汪俊华,等. 2021—2022 年贵州省贵阳市肺结核患者灾难性支出及影响因素研究 [J]. 疾病监测,2024,39(5):647-654.
Liang ZH, Pan CL, Wang JH, et al. Investigation of catastrophic health expenditure of pulmonary tuberculosis patients and influencing factors in Guiyang, Guizhou, 2021-2022 [J]. Disease Surveillance, 2024, 39(5): 647-654. (In Chinese)
- [5] 李佩吉,王雅怡,戴萌萌,等. 基于贝叶斯方法与季节性动力学模型的中国肺结核发病率预测与防控措施评估[J]. 中华疾病控制杂志,2024,28(4):373-380.
Li PJ, Wang YY, Dai MM, et al. Prediction of the pulmonary tuberculosis incidence and control measures assessment in China based on Bayesian method and seasonal dynamic model [J]. Chinese Journal of Disease Control & Prevention, 2024, 28(4): 373-380. (In Chinese)
- [6] Emery JC, Richards AS, Dale KD, et al. Self-clearance of Mycobacterium tuberculosis infection: implications for lifetime risk and population

- at-risk of tuberculosis disease [J]. *Biological Sciences*, 2021, 288 (1943): 20201635.
- [7] 王岳,王文灿,李涛,等. 不同诊断情景下结核病负担预测的动力学模型研究[J]. *中华流行病学杂志*, 2020, 41(4): 580-584. Wang Y, Wang WC, Li T, et al. Disease burden of tuberculosis under different diagnostic scenarios in China: a dynamic modeling study[J]. *Chinese Journal of Epidemiology*, 2020, 41(4): 580-584.(In Chinese)
- [8] 贵阳市人民政府. 贵阳市统计年鉴 [EB/OL]. [2025-06-26]. <https://www.guiyang.gov.cn>. Guiyang Municipal People's Government. Guiyang statistical yearbook [EB/OL]. [2025-06-26]. <https://www.guiyang.gov.cn>. (In Chinese)
- [9] Blower SM, Small PM, Hopewell PC. Control strategies for tuberculosis epidemics: new models for old problems [J]. *Science*, 1996, 273(5274): 497-500.
- [10] 国家卫生健康委员会. 2018 年 8 月全国法定传染病疫情概况 [EB/OL]. [2025-07-25]. <https://www.nhc.gov.cn/jkj/c100062/201809/cae03bbe91ee4e6195ee95e40b4dae51.shtml>. National Health Commission of the People's Republic of China. Overview of the national epidemic situation of legally notifiable infectious diseases in August 2018 [EB/OL]. [2025-07-25]. <https://www.nhc.gov.cn/jkj/c100062/201809/cae03bbe91ee4e6195ee95e40b4dae51.shtml>. (In Chinese)
- [11] World Health Organization. Global tuberculosis report 2018[EB/OL]. [2025-06-26]. <https://www.who.int/publications>.
- [12] 梁祖花,潘春柳,汪俊华,等. 贵阳市活动性肺结核报告发病数变化趋势及预测[J]. *中华疾病控制杂志*, 2025, 29(1): 42-48, 66. Liang ZH, Pan CL, Wang JH, et al. The trend and prediction of the number of reported cases of active pulmonary tuberculosis in Guiyang and its prediction [J]. *Chinese Journal of Disease Control & Prevention*, 2025, 29(1): 42-48, 66.(In Chinese)
- [13] 全国第五次结核病流行病学抽样调查技术指导组. 全国第五次结核病流行病学抽样调查办公室. 2010 年全国第五次结核病流行病学抽样调查报告 [J]. *中国防痨杂志*, 2012, 34(8): 485-508. Technical Guidance Group of the fifth National TB Epidemiological Survey, The office of the fifth National TB Epidemiological Survey. The fifth national tuberculosis epidemiological survey in 2010 [J]. *Chinese Journal of Antituberculosis*, 2012, 34 (8): 485-508. (In Chinese)
- [14] Nsengiyumva NP, Campbell JR, Oxlade O, et al. Scaling up target regimens for tuberculosis preventive treatment in Brazil and South Africa: An analysis of costs and cost-effectiveness [J]. *PLOS Medicine*, 2022, 19(6): e1004032.
- [15] Huynh GH, Klein DJ, Chin DP, et al. Tuberculosis control strategies to reach the 2035 global targets in China: the role of changing demographics and reactivation disease [J]. *BMC Medicine*, 2015, 13: 88.
- [16] 高磊,张慧,胡茂桂. 全国结核分枝杆菌潜伏感染率估算专家共识[J]. *中国防痨杂志*, 2022, 44(1): 4-8. Gao L, Zhang H, Hu MG. Expert consensus on the estimation of the national burden of latent tuberculosis infection[J]. *Chinese Journal of Antituberculosis*, 2022, 44(1): 4-8.(In Chinese)
- [17] World Health Organization. Latent tuberculosis infection: updated and consolidated guidelines for programmatic management[EB/OL]. [2025-06-26]. <https://www.who.int/publications>.
- [18] 郭同磊,辛赫男,高磊. 世界卫生组织结核病整合指南模块 1: 结核病预防性治疗》解读 [J]. *中国防痨杂志*, 2023, 45(8): 723-727. Guo TL, Xin HN, Gao L. Interpretation of WHO consolidated guidelines on tuberculosis: Module 1: prevention: tuberculosis preventive treatment [J]. *Chinese Journal of Antituberculosis*, 2023, 45(8): 723-727.(In Chinese)
- [19] 任哲雯,成君,徐彩虹,等. 肺结核患者密切接触者潜伏性结核感染预防性治疗研究进展 [J]. *中国防痨杂志*, 2019, 41(9): 1021-1024. Ren ZW, Cheng J, Xu CH, et al. Progression of preventive treatment of latent tuberculosis infection in close contacts of patients with tuberculosis [J]. *Chinese Journal of Antituberculosis*, 2019, 41(9): 1021-1024.(In Chinese)

收稿日期: 2025-03-30

(上接第 3098 页)

- [23] 陈晓芸,吴宇航,曹瑜,等. 老年人休闲活动与生活自理能力的相关性:1 项 80 岁人群的前瞻性队列研究[J]. *中国医科大学学报*, 2022, 51(12): 1079-1084, 1089. Chen XY, Wu YH, Cao Y, et al. Correlation between leisure activities and activities of daily living in the elderly: a prospective cohort study of 80-year-old individuals[J]. *Journal of China Medical University*, 2022, 51(12): 1079-1084, 1089.(In Chinese)
- [24] Leung LYL, Tam HL, Ho JKM. Effectiveness of Tai Chi on older adults: A systematic review of systematic reviews with re-meta-analysis [J]. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 2022, 103: 104796.
- [25] Wu S, Li G, Shi B, et al. Comparative effectiveness of interventions on promoting physical activity in older adults: A systematic review and network meta-analysis[J]. *Digit Health*, 2024, 10: 182.
- [26] 陈长洲,王红英,余汪洋. 智慧体育服务助推“积极老龄化”的逻辑理路与发展路径 [J]. *武汉体育学院学报*, 2024, 58(8): 34-41. Chen CZ, Wang HY, Yu WY. Theory and practice of smart sports services promoting positive aging [J]. *Journal of Wuhan Institute of Physical Education*, 2024, 58(8): 34-41.(In Chinese)

收稿日期: 2025-03-26