

2006–2021 年中国居民结核病死亡情况的流行特征分析与预测

李政^{1,2,3} 方乐天^{1,2,3} 胡明^{1,2,3} 曾慧娴⁴ 陈宏森^{1,2,3} 谭晓契^{1,2,3}

¹海军军医大学海军医学系海军流行病学教研室,上海 200433;²上海市医学生物防护重点实验室,上海 200433;³生物安全防御教育部重点实验室,上海 200433;⁴暨南大学基础医学院流行病学教研室,广州 510632

通信作者:谭晓契,Email:xjtan2020@smmu.edu.cn

【摘要】 目的 分析 2006–2021 年中国居民结核病死亡情况的流行病学特征,并对 2022–2027 年的结核病死亡率进行预测,为开展我国结核病防控工作提供参考依据。方法 收集来自中国 CDC 定期公开发表的 2006–2021 年结核病死亡病例数据集,并依照中国 2000 年的人口结构进行年龄标化,计算结核病粗死亡率(CMR)和年龄标化死亡率(ASMR),分析结核病死亡病例年龄、性别、地区和时间的分布特征,采用Joinpoint回归分析模型分析变化趋势,并应用灰色模型预测 2022–2027 年的结核病 CMR 和 ASMR。结果 中国居民总人口、男女性、城乡、各年龄段(除年龄 ≥ 85 岁组死亡率下降趋势不显著外)、东中西部地区 2006–2021 年结核病 CMR 和 ASMR 均呈下降趋势。男性 CMR 和 ASMR 均高于女性。城市 CMR 和 ASMR 均低于农村。结核病患者年龄越大,死亡率越高。CMR 和 ASMR 西部均高于东部和中部,东部低于中部,但差距较小。东部城市 ASMR 低于中部城市和西部城市,中部城市在 2006–2009 年和 2012 年高于西部城市,其他年份均低于西部城市;西部农村 ASMR 高于东部农村和中部农村,东部农村低于中部农村,但差距较小。灰色模型预测结果显示,中国居民 2022–2027 年结核病 CMR(/10 万)分别为 1.585、1.471、1.360、1.250、1.143 和 1.038,ASMR(/10 万)分别为 0.779、0.653、0.531、0.411、0.295 和 0.181。结论 中国居民 2006–2021 年及预测 2022–2027 年结核病 CMR 和 ASMR 均持续下降,结核病防治取得了较大的成就。未来工作应重点加强农村、西部地区、男性、老年人口的结核病筛查和治疗,有针对性地制定防控措施,降低死亡率。

【关键词】 结核病; 死亡率; 趋势分析; 中国居民; 灰色模型

基金项目:国家重点研发计划(2022YFC2602905);上海市加强公共卫生体系建设三年行动计划重点学科(GWVI-11.1-10)

Analysis and prediction of epidemiological characteristics of tuberculosis deaths among Chinese residents from 2006 to 2021

Li Zheng^{1,2,3}, Fang Letian^{1,2,3}, Hu Ming^{1,2,3}, Zeng Huixian⁴, Chen Hongsen^{1,2,3}, Tan Xiaojie^{1,2,3}

¹Department of Naval Epidemiology, Faculty of Naval Medicine, Naval Medical University, Shanghai 200433, China; ²Shanghai Key Laboratory of Medical Bioprotection, Shanghai 200433, China; ³Key Laboratory of Biosecurity Defense, Ministry of Education, Shanghai 200433, China; ⁴Department of Epidemiology, School of Medicine, Jinan University, Guangzhou 510632, China

Corresponding author: Tan Xiaojie, Email: xjtan2020@smmu.edu.cn

【Abstract】 Objective The epidemiological characteristics of tuberculosis deaths among

DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20231114-00286

收稿日期 2023-11-14 本文编辑 张婧

引用格式:李政,方乐天,胡明,等. 2006-2021 年中国居民结核病死亡情况的流行特征分析与预测[J]. 中华流行病学杂志, 2024, 45(6): 824-832. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20231114-00286.

Li Z, Fang LT, Hu M, et al. Analysis and prediction of epidemiological characteristics of tuberculosis deaths among Chinese residents from 2006 to 2021[J]. Chin J Epidemiol, 2024, 45(6): 824-832. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20231114-00286.



Chinese residents from 2006 to 2021 were analyzed, and the tuberculosis mortality rate from 2022 to 2027 was predicted to provide a reference for tuberculosis prevention and control in China.

Methods The data set of tuberculosis deaths from 2006 to 2021 was published regularly by the China CDC, and the crude mortality rate (CMR) and age-standardized mortality rates (ASMR) were calculated according to the population structure of China in 2000. The distribution characteristics of age, sex, region, and time of tuberculosis deaths were analyzed, the Joinpoint regression analysis model was used to analyze the changing trend, and the grey model was applied to predict CMR and ASMR from 2022 to 2027. **Results** From 2006 to 2021, the CMR and ASMR of tuberculosis showed a downward trend among males and females, urban and rural areas, and all age groups, in a word, all the Chinese residents. Except for the age group ≥ 85 years old, the mortality trend was insignificant. In the eastern, central, or western regions. CMR and ASMR were significantly higher in males than in females. CMR and ASMR were significantly lower in urban areas than in rural areas. In general, active tuberculosis patients present a higher mortality rate. The CMR and ASMR in the western region were higher than those in the eastern and central regions and lower in the eastern region than in the central region, but the differences were less obvious. The ASMR of the eastern cities was lower than that of the central and western regions, and the ASMR of the central cities was higher than that of the western region from 2006 to 2009 and 2012 and lower than that of the western region in other years. The ASMR in the western countryside was higher than that in the eastern and central regions and lower in the eastern part than in the central region, but the difference was not obvious. The grey model prediction results show that the CMR (/100 000) of Chinese residents from 2022 to 2027 is 1.585, 1.471, 1.360, 1.250, 1.143, and 1.038, and the ASMR (/100 000) is 0.779, 0.653, 0.531, 0.411, 0.295 and 0.181, respectively. **Conclusions** The CMR and ASMR of tuberculosis will continue to decline, and extraordinary achievements have been made in tuberculosis prevention and control in Chinese residents from 2006 to 2021 and, presumably, from 2022 to 2027. However, tuberculosis screening and treatment programs in the western region, men, the elderly population, and rural areas should be further strengthened, and targeted prevention and control measures should be formulated to reduce mortality.

【 Key words 】 Tuberculosis; Mortality; Trend analysis; Chinese residents; Grey model

Fund programs: National Key Research and Development Program of China (2022YFC2602905); Key Disciplines in Shanghai's Three-year Action Plan for Strengthening the Construction of Public Health System (GWVI-11.1-10)

结核病是由结核分枝杆菌引起的传染性疾病, 严重威胁全球健康^[1-4]。WHO 发布的 2023 年全球结核病报告显示, 2022 年全球新发结核病感染者约 1 060 万, 共约 130 万死于结核病^[4]。中国结核病负担较重, 结核病例占全球的 7.1%, 仅次于印度和印度尼西亚^[3-4]。2022 年中国估算新发结核病患者数为 74.8 万, 发病率为 52/10 万, 较 2021 年下降 4.1%^[4]。中国 CDC 慢性非传染性疾病预防控制中心和国家卫生健康委统计信息中心发布的《中国死因监测数据集》(2016-2021)(原全国疾病监测系统死因监测数据集)显示, 肺结核是我国感染性疾病第三位死因, 仅次于肺炎和病毒性肝炎^[5-20]。联合国成员国预计到 2030 年结束全球结核病流行, 但新型冠状病毒大流行对结核病服务及可及性造成了影响, 发病与死亡人数均有所上升^[4, 21-22]。结核病仍是全社会需要重视的问题, 需要采取必要措施控制疾病传播, 减少结核病致死, 保护居民健康, 减少疾病负担^[1, 23]。

为了解中国居民 2006-2021 年结核病死亡趋势并对 2022-2027 年的结核病死亡率进行预测, 为开展结核病预防控制工作提供参考依据, 本研究收集《中国死因监测数据集(2006-2021)》中各死因监测点人口以及按性别、地区、城乡和年龄段分类统计的结核病死亡数据, 通过计算结核病粗死亡率 (CMR) 和年龄标化死亡率 (ASMR) 来描述死亡状况, 采用 Joinpoint 回归分析标化死亡率变化趋势, 并应用灰色模型预测 2022-2027 年的结核病死亡率。

资料与方法

1. 数据来源: 本研究以《中国死因监测数据集(2006-2021)》中各监测点覆盖的人口数、全死因死亡人数、以结核病为根本死因的死亡人数作为基础数据, 并对性别、地区、城乡和年龄段分类统计的死亡数据进行纵向分析^[5-20]。根本死因定义为引起直

接导致死亡的一系列病态事件的疾病或损伤,或造成致命损伤的事故或暴力的情况。监测点根据分层整群随机抽样的原则建立,2006–2012 年死因监测点为 161 个,覆盖中国 31 个省(自治区、直辖市),监测人口超过 7 000 万,约占全国人口的 6%,2013–2021 年死因监测点为 605 个,监测人口超过 3 亿,约占全国人口的 24%,监测对象为发生在中国 31 个省(自治区、直辖市)的所有死亡个案。为探寻不同年龄段居民的结核病死亡情况,本研究按照《中国死因监测数据集(2006–2021)》年龄分组情况,将结核病死亡病例的年龄 5 岁一组分为 18 组。

疾病监测点数据,是由经过统一培训的工作人员按照标准方案监督收集医院里所有死亡病例数据,对于发生在院外的死亡,由相关专业人员通过尸检收集死亡数据,利用标准化工具对结核病死亡病例的登记、录入及上报进行规范。数据报告的质量由各级 CDC 人员负责检查,包括评估死亡证明中报告项目的完整性和逻辑性等,不合格的数据退回至监测点复查医疗记录或尸检记录进行核实。该疾病监测系统每 3 年对全国所有疾病监测点进行抽样调查,用以发现日常质量检查中的漏报情况^[5–20]。由于全国死因监测系统启动时间不长,新增监测点工作经验不足,基础比较薄弱,可能存在漏报情况,因此对所收集的资料进行数据清洗,并对整体质量和每个监测点的数据质量进行比较和判断,将一些认为是漏报严重且有可能影响总体结果的监测点数据进行剔除:2004–2012 年监测点以死亡率低于 3.0‰ 为剔除标准;2013 年后,原卫生部死因监测统计系统和全国疾病监测系统监测点以死亡率低于 4.5‰ 为剔除标准,2013 年新增的监测点以死亡率低于 5.0‰ 为剔除标准。剔除后,2006–2021 年分别纳入 146、156、158、157、157、155、153、432、491、487、499、509、512、519、522、531 个监测点,监测点最低死亡率分别为 3.08‰、3.12‰、3.02‰、3.27‰、3.27‰、3.07‰、3.05‰、4.51‰、4.57‰、4.59‰、4.59‰、4.51‰、4.50‰、4.50‰、4.52‰、4.51‰。按照国家统计局分类方法,将监测点划分为东、中、西部地区,分别包括 11、8、12 个省(自治区、直辖市);将监测点为县(包括县级市)定义为农村,区定义为城市^[5–20]。ASMR 的计算以 2000 年中国人口普查的数据为标准人口。依据《国际疾病分类》第十版(ICD-10)编码范围,本研究纳入的结核病编码包括 A15~A19、B90。

2. 统计学分析:

(1) Joinpoint 回归模型:采用美国国家癌症研究所开发的 Joinpoint Regression Program 5.0.2 软件(<https://surveillance.cancer.gov/joinpoint/download>),计算年变化百分比(APC)和平均年变化百分比(AAPC)。该模型可以直观地显示结核病死亡率的变化趋势,并根据置换检验找到差异有统计学意义的转折点^[1]。APC 指不同时间段内的变化趋势,AAPC 指整个长期时间段内的变化趋势,APC、AAPC 为正值即率呈上升趋势,APC、AAPC 为负值即率呈下降趋势,无转折点则 APC=AAPC^[24]。采用 Excel 2016 软件进行数据整理,并应用 GraphPad Prism 8.0 软件进行绘图。双侧检验,检验水准 $\alpha=0.05$ 。

(2) 灰色模型:应用灰色模型 GM(1,1) 预测我国居民 2022–2027 年结核病死亡率。模型需计算发展系数和灰色作用量,为模型构建输出值。使用后验差比值(C)和小误差概率(p)评价预测结果的精度:若 $C \leq 0.35$ 且 $p \geq 0.95$,模型判为优; $C \leq 0.50$ 且 $p \geq 0.80$,模型判为良; $C \leq 0.65$ 且 $p \geq 0.70$,模型判为中等; $C > 0.65$ 且 $p < 0.70$,模型判为差。不合格模型不能用于预测。

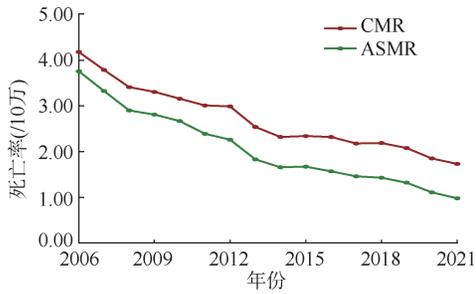
结 果

1. 基本特征:2006–2021 年全国以结核病为根本死因导致的死亡共 68 820 例,约占传染病和寄生虫病总死亡数的 32%,平均 CMR 为 2.71/10 万,平均 ASMR 为 2.07/10 万。

我国居民结核病死亡数从 2006 年的 2 758 例上升至 2021 年的 4 628 例,AAPC=3.9%(95%CI: 1.0%~6.9%, $P=0.009$)。其中 2006–2011 年死亡数呈下降趋势,APC=-4.8%(95%CI: -8.0%~-1.6%, $P=0.010$);随后死亡数从 2011 年的 2 332 例上升至 2014 年的 5 885 例,APC=43.3%(95%CI: 23.1%~66.8%, $P=0.001$);2014–2021 年死亡数呈下降趋势,APC=-3.6%(95%CI: -5.5%~-1.6%, $P=0.003$)。

我国居民结核病死亡率在 2006–2021 年呈下降趋势。其中 CMR 从 2006 年的 4.18/10 万下降至 2021 年的 1.73/10 万,AAPC=-5.2%(95%CI: -5.7%~-4.7%, $P<0.001$);ASMR 从 2006 年的 3.76/10 万下降至 2021 年的 0.98/10 万,AAPC=-8.0%(95%CI: -8.6%~-7.4%, $P<0.001$)。见图 1。

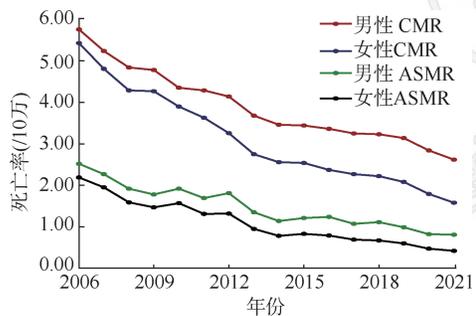
2. 不同性别结核病死亡趋势:2006–2021 年结核病男性死亡共 51 267 例,平均 CMR 为 3.90/10 万,平均 ASMR 为 3.11/10 万;女性死亡共 17 550 例,平



注:CMR:粗死亡率;ASMR:年龄标准化死亡率

图1 2006-2021年中国居民结核病死亡率变化

均CMR为1.48/10万,平均ASMR为1.10/10万。男性结核病CMR呈下降趋势,从2006年的5.76/10万下降至2021年的2.62/10万,AAPC=-5.0%(95%CI:-6.2%~-3.8%, $P<0.001$);ASMR呈下降趋势,从2006年的5.43/10万下降至2021年的1.58/10万,AAPC=-7.9%(95%CI:-9.6%~-6.1%, $P<0.001$)。女性结核病CMR呈下降趋势,从2006年的2.52/10万下降至2021年的0.81/10万,AAPC=-6.9%(95%CI:-7.8%~-6.0%, $P<0.001$);ASMR呈下降趋势,从2006年的2.19/10万下降至2021年的0.42/10万,AAPC=-9.9%(95%CI:-10.8%~-9.0%, $P<0.001$)。男性结核病CMR、ASMR均高于女性。见图2。

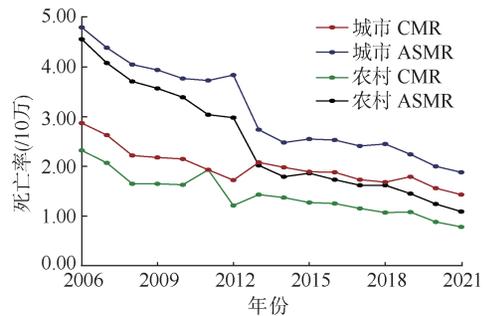


注:CMR:粗死亡率;ASMR:年龄标准化死亡率

图2 2006-2021年中国不同性别居民结核病死亡率变化

3. 城乡结核病死亡趋势:2006-2021年我国城市结核病总死亡数为18 148例,平均CMR为1.98/10万,平均ASMR为1.42/10万;我国农村结核病总死亡数为50 669例,平均CMR为3.11/10万,平均ASMR为2.48/10万。城市结核病CMR呈下降趋势,由2006年的2.87/10万下降至2021年的1.43/10万,AAPC=-3.4%(95%CI:-4.3%~-2.5%, $P<0.001$);ASMR呈下降趋势,由2006年的2.32/10万下降至2021年的0.78/10万,AAPC=-5.8%(95%CI:-6.9%~-4.7%, $P<0.001$)。农村结核病CMR呈下降趋势,由2006年的4.80/10万下降至2021年的1.88/10万,

AAPC=-5.9%(95%CI:-6.8%~-5.1%, $P<0.001$);ASMR呈下降趋势,由2006年的4.56/10万下降至2021年的1.09/10万,AAPC=-9.0%(95%CI:-9.9%~-8.0%, $P<0.001$)。城市结核病CMR和ASMR均分别低于农村CMR和ASMR。见图3。



注:CMR:粗死亡率;ASMR:年龄标准化死亡率

图3 2006-2021年中国城乡居民结核病死亡率变化

4. 不同年龄结核病的死亡趋势:2006-2021年,除 ≥ 85 岁组以外,其余每个年龄组结核病的死亡率均呈明显下降趋势,其中0~4、5~9、10~14、15~19、50~54岁年龄组AAPC均超过10.0%(均 $P<0.001$)。但 ≥ 85 岁组死亡率下降趋势并不显著($P=0.557$)。见表1。对不同年龄组结核病患者的比较发现,年龄越大,死亡率越高。2006-2021年每年的流行趋势均相同。见图4。

5. 结核病死亡趋势:东部城市、东部农村、中部

表1 2006-2021年中国不同年龄居民结核病死亡率时间变化趋势

年龄组(岁)	AAPC(% ,95%CI)	P值
0~	-15.3(-21.2~-8.9)	<0.001
5~	-12.0(-17.3~-6.4)	0.001
10~	-14.0(-18.4~-9.5)	<0.001
15~	-10.5(-13.6~-7.2)	<0.001
20~	-8.5(-10.7~-6.2)	<0.001
25~	-6.2(-8.1~-4.3)	<0.001
30~	-6.8(-8.6~-4.9)	<0.001
35~	-8.3(-9.3~-7.3)	<0.001
40~	-8.9(-9.9~-7.9)	<0.001
45~	-6.5(-9.2~-3.8)	<0.001
50~	-10.1(-14.2~-5.7)	<0.001
55~	-8.8(-10.7~-6.8)	<0.001
60~	-8.5(-9.8~-7.2)	<0.001
65~	-9.0(-10.3~-7.7)	<0.001
70~	-8.5(-9.2~-7.8)	<0.001
75~	-7.5(-8.3~-6.7)	<0.001
80~	-7.3(-8.2~-6.4)	<0.001
≥ 85	-3.4(-13.9~8.4)	0.557

注:AAPC:平均年变化百分比

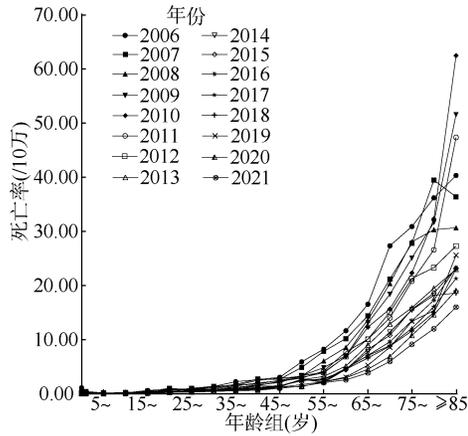


图4 2006-2021年中国不同年龄居民结核病死亡率变化

城市、中部农村、西部城市、西部农村的 ASMR 在 2006-2021 年均呈下降趋势。城市男性、城市女性、农村男性、农村女性的 ASMR 在 2006-2021 年均呈下降趋势,趋势有统计学意义(均 $P < 0.001$)。见表 2。

对不同地区结核病死亡率进行对比发现,CMR 和 ASMR 西部均高于东部和中部,东部低于中部,但差距较小。东部城市 ASMR 低于中部城市和西部城市,中部城市在 2006-2009 年和 2012 年高于西部城市,其他年份均低于西部城市;西部农村 ASMR 高于东部农村和中部农村,东部农村低于中部农村,但差距较小。见图 5。

6. 结核病死亡率预测:以我国居民 2006-2021 年结核病 CMR、ASMR 数据为基础数据序列分别建立模型,应用灰色模型 GM(1,1) 对 2022-2027 年进行预测,结果显示,CMR 模型发展系数 $\alpha = 0.0206$,灰色作用量 $\mu = 7.8591$,预测模型公式: $X^{(1)}(k+1) = -377.3297e^{-0.0206k} + 381.5097$,计算模型 $C = 0.0267 < 0.35$, $p = 1.00 > 0.95$,表明模型精度优; ASMR 模型发展系数 $\alpha = 0.0267$,灰色作用量 $\mu = 7.4396$,预测模型公式: $X^{(1)}(k+1) = -274.8767e^{-0.0267k} + 278.6367$,计算模型 $C = 0.0225 < 0.35$, $p = 1.00 > 0.95$,表明模型精度优。经预测,我国居民 2022-2027 年

表2 2006-2021年中国不同地区居民结核病死亡率变化

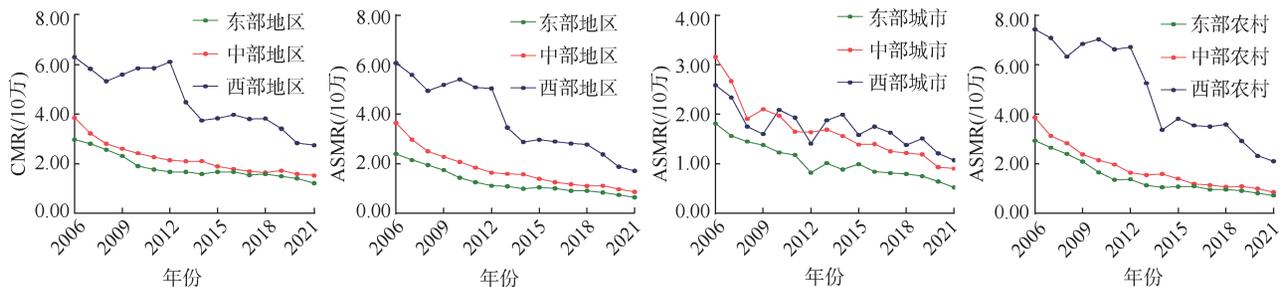
地区	AAPC(% ,95%CI)	P值
CMR		
东部	-6.0(-7.6~-4.3)	<0.001
中部	-8.6(-10.1~-7.1)	<0.001
西部	-6.0(-6.9~-5.1)	<0.001
ASMR		
总人群		
东部	-8.9(-9.9~-7.8)	<0.001
中部	-5.3(-6.4~-4.1)	<0.001
西部	-7.9(-9.2~-6.6)	<0.001
城市		
东部	-6.6(-7.8~-5.5)	<0.001
中部	-8.8(-10.0~-7.5)	<0.001
西部	-7.6(-9.8~-5.3)	<0.001
农村		
东部	-9.1(-10.1~-8.0)	<0.001
中部	-3.8(-5.4~-2.2)	<0.001
西部	-8.2(-9.7~-6.6)	<0.001
男性		
城市	-5.4(-6.4~-4.4)	<0.001
农村	-6.4(-7.6~-5.3)	<0.001
女性		
城市	-8.2(-9.1~-7.3)	<0.001
农村	-11.1(-12.4~-9.8)	<0.001

注:AAPC:平均年变化百分比;CMR:粗死亡率;ASMR:年龄标化死亡率

结核病 CMR (/10 万) 依次为 1.585、1.471、1.360、1.250、1.143 和 1.038, ASMR (/10 万) 依次为 0.779、0.653、0.531、0.411、0.295 和 0.181。见图 6。

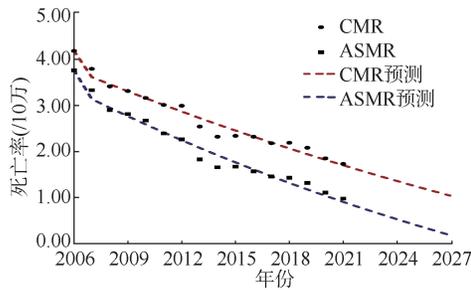
讨论

本研究结果显示,中国居民 2006-2021 年及 2022-2027 年整体结核病死亡率持续下降。从分组分析可以看出,不同性别、城乡、不同年龄段(≥ 85 岁组除外)和不同地区的居民在 2006-2021 年



注:CMR:粗死亡率;ASMR:年龄标化死亡率

图5 2006-2021年中国不同地区、城乡居民结核病死亡率对比



注:CMR:粗死亡率;ASMR:年龄标准化死亡率

图6 2006-2027年中国居民结核病死亡率预测

均呈下降趋势,表明中国结核病防控工作卓有成效,居民死亡风险随时间推移逐渐降低。这可能与国家经济快速发展、人民生活水平不断提高、医疗保障制度逐渐完善以及疾病诊疗技术的发展进步等有关^[3,25]。但结核病死亡人数呈上升趋势,尤其在2013年出现明显增加,这可能与人口增长有关,也可能与疾病监测点增加,将原卫生部死因统计系统与全国疾病监测系统整合后,监测点由161个扩展到605个有关^[12]。

本研究中,男性在2006-2021年的结核病死亡率高于女性,这与WHO的《全球结核报告2023》一致^[4],这可能与男性更多暴露于吸烟、饮酒等高风险因素有关^[26]。饮酒会损害免疫系统,从而增加结核病的易感性和潜在结核病的再激活,吸烟可能会进一步降低结核病短程化疗的有效性,同时增加耐药风险^[27-29]。也有研究认为,在某些年龄组中,男性和女性之间的生物学差异会影响感染风险以及感染发展为活动性疾病的风险,且社会角色差异会影响其接触结核病的风险和获得治疗的机会。我国男性在户外的时间更长,社交接触更多,可能增加感染的风险。此外,某些职业风险因素在男性中更高,如从事采矿等职业,与患结核病的风险增加有关^[30-31]。因此,应加大男性结核病的筛查力度,及时规范化治疗结核病患者,积极戒烟戒酒,以降低结核病的死亡率。

本研究发现,结核病的死亡风险整体随着年龄增长而增加,≥85岁组居民在2006-2021年结核病死亡率下降趋势不明显,说明老年人群的结核病防控存在较大提升空间。老年人结核病死亡率较高,一方面,由于免疫力下降、生理变化、营养不良等诸多原因,老年人易患多种基础疾病,增加患结核病死亡的风险^[1,32-33];另一方面,由于中国人口老龄化,老年人口数逐渐增加,预期寿命不断延长,人口年龄分布的变化可能会增加死亡率^[34]。应加强对特定年龄组的筛查和治疗。相比之下,年轻人死亡

的可能性较小,因为只要及早发现结核病并在整个治疗过程中合理用药,结核病通常可治愈^[1]。

在城乡差异上,农村结核病死亡率高于城市居民,比较分性别城乡死亡率差异时也得到了相同结果。这可能与农村地区卫生服务相对落后、经济发展水平较低与健康教育不足有关^[35-36],也可能因为中国城镇化的推进,农村地区留守老人及儿童等弱势群体比例增加^[37]。在地区差异上,西部结核病死亡率较高,东部和中部间死亡率差距较小。对比城市ASMR发现,相较于中部和西部居民,东部城市居民死亡率明显更低,这可能与地区发展不平衡密切相关^[38],东部城市发展、经济实力、医疗水平高于中部和西部^[39];对比农村ASMR发现,东部和中部间差距较小,而西部农村死亡率较高,这可能因为西部农村医疗水平、执业医师数量、农村人均卫生保健支出及其在消费支出中的比例、就医便利性、经济发展低于中部和东部农村^[3]。

本研究应用灰色模型GM(1,1)预测我国居民2022-2027年结核病死亡率,该模型将无规律的原始数据累加,使其生成较有规律的数据后建模,可针对数量较少、数据完整性和可靠性较低的数据序列进行有效预测,其利用微分方程来充分挖掘数据的本质,建模所需信息少,精度较高,运算简便,易于检验,无需考虑分布规律或变化趋势等。但灰色模型一般仅适用于少量数据的短期预测,在进行大量数据和长期预测时误差较大;数据处理后,须满足C值和p值的要求等。

本研究存在局限性。第一,由于数据可用性,Jointpoint模型分析中应用的数据段时长仅16年,时间跨度较短;第二,死因监测资料仅提供了结核病整体死亡率,未分析不同类型的结核病,也没有在省或城乡两级、不同户籍人口、流动人口及不同职业人群间进行分析,无法观察到影响我国结核病死亡率趋势的更详细信息;第三,死因监测数据的收集可能存在漏报情况,观察到的结核病死亡率趋势反映的是接受治疗的患者,而非所有患者,发病率 and 死亡率趋势可能存在偏倚。

近20年来,结核病的发病率和死亡率有所下降,但其仍然是全球重要公共卫生问题之一,每年导致数百万人感染和死亡^[4]。低收入国家的结核病负担较高,印度面临多重耐药结核与医疗资源不足、获取困难、诊断不完善和治疗不彻底等困境^[26]。美国等高收入国家的负担相对较低,但结核病在HIV感染者和移民人群等特定人群中仍持续存在

和传播。尽管全球范围内的结核病治疗覆盖率有所提高,结核病的多重耐药问题依然存在^[27],多重耐药结核病和极耐药结核病的出现增加了结核病防控的复杂性^[28]。结核病防控领域出现了一些新技术和新方法,如基于基因组的结核菌分型技术、快速诊断试剂等,有助于提高结核病的早期诊断和治疗^[29]。

我国近年加强了结核病疫情监测,定期收集和分析结核病的发病率和死亡率数据;针对结核病高负担地区和结核病高危人群,如 HIV 感染者、接触过结核病患者、免疫抑制患者等,开展有针对性的筛查活动和药物预防治疗,包括结核菌素皮肤试验、胸部 X 射线检查和痰涂片检查等。在结核病高负担地区推广卡介苗接种,特别是对新生儿和儿童进行接种,这些措施均有效降低了结核病的发病和传播。但在结核病的筛查中,城乡可能存在差异:由于人口密度、医疗资源和社会经济条件的影响,胸部 X 射线检查、痰涂片检查等筛查措施可能更集中于城市地区。结核病耐药菌株出现及其防控难度,在经济落后地区可能体现得更加明显^[6,30]。

我国居民在 2006–2021 年及预测 2022–2027 年结核病 CMR 和 ASMR 均持续下降。但距离 2030 年彻底终结结核病流行的目标仍有一定距离,建议继续加强结核病筛查与治疗、患病人口管理,建议卫生部门合理配置资源,加大农村、西部地区、老年及男性人口的结核病监测及筛查力度,加强医疗机构建设与健康宣教。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 李政:实施研究、分析/解释数据、文章撰写;方乐天:采集数据、实施研究、文章审阅;胡明:采集数据、统计分析;曾慧娟:文章审阅、统计分析;陈宏森:整理校对;谭晓斐:研究设计/指导、文章审阅、行政/经费支持

参 考 文 献

- [1] Wang LQ, Wang WB. Temporal trends in notification and mortality of tuberculosis in China, 2004-2019: A joinpoint and age-period-cohort analysis[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18(11) 5607. DOI:10.3390/ijerph18115607.
- [2] Singh H, Rupal A, Al Omari O, et al. Trends in pulmonary tuberculosis mortality between 1985 and 2018: an observational analysis[J]. *BMC Pulm Med*, 2023, 23(1): 184. DOI:10.1186/s12890-023-02458-9.
- [3] Zhang QY, Song WM, Liu SQ, et al. An ecological study of tuberculosis incidence in China, from 2002 to 2018[J]. *Front Public Health*, 2022, 9: 766362. DOI: 10.3389/fpubh.2021.766362.
- [4] World Health Organization. Global tuberculosis report 2023[R]. Geneva:World Health Organization, 2023.
- [5] 中国疾病预防控制中心. 全国疾病监测系统死因监测数据集-2006[M]. 北京:军事医学科学出版社, 2009. China CDC. Data set of national mortality surveillance (2006) [M]. Beijing: Press of Military Medical Sciences, 2009.
- [6] 中国疾病预防控制中心. 全国疾病监测系统死因监测数据集-2007[M]. 北京:人民卫生出版社, 2010. China CDC. Data set of national mortality surveillance (2007) [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2010.
- [7] 中国疾病预防控制中心. 全国疾病监测系统死因监测数据集-2008[M]. 北京:人民卫生出版社, 2010. China CDC. Data set of national mortality surveillance (2008) [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2010.
- [8] 王宇. 全国疾病监测系统死因监测数据集-2009[M]. 北京:军事医学科学出版社, 2012. Wang Y. Data set of national mortality surveillance (2009) [M]. Beijing: Press of Military Medical Sciences, 2012.
- [9] 王宇. 全国疾病监测系统死因监测数据集-2010[M]. 北京:军事医学科学出版社, 2012. Wang Y. Data set of national mortality surveillance (2010) [M]. Beijing: Press of Military Medical Sciences, 2012.
- [10] 中国疾病预防控制中心. 全国疾病监测系统死因监测数据集-2011[M]. 北京:人民卫生出版社, 2013. China CDC. Data set of national mortality surveillance (2011) [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2013.
- [11] 中国疾病预防控制中心慢性非传染性疾病预防控制中心. 全国疾病监测系统死因监测数据集-2012[M]. 北京:科学普及出版社, 2013. China CDC, National Center for Chronic and Non-communicable Disease Control and Prevention. Data set of national mortality surveillance (2012) [M]. Beijing: Popular Science Press, 2013.
- [12] 中国疾病预防控制中心慢性非传染性疾病预防控制中心, 国家卫生计生委统计信息中心. 中国死因监测数据集-2013[M]. 北京:科学普及出版社, 2015. National Center for Chronic and Non-communicable Disease Control and Prevention, China CDC, Statistical Information Centre, National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Data set of national mortality surveillance (2013) [M]. Beijing: Popular Science Press, 2015.
- [13] 中国疾病预防控制中心慢性非传染性疾病预防控制中心, 国家卫生计生委统计信息中心. 中国死因监测数据集-2014[M]. 北京:科学普及出版社, 2015. National Center for Chronic and Non-communicable Disease Control and Prevention, China CDC, Statistical Information Centre, National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Data set of national mortality surveillance (2014) [M]. Beijing: Popular Science Press, 2015.
- [14] 中国疾病预防控制中心慢性非传染性疾病预防控制中心, 国家卫生计生委统计信息中心. 中国死因监测数据集-2015[M]. 北京:科学普及出版社, 2016. National Center for Chronic and Non-communicable Disease Control and Prevention, China CDC, Statistical

- Information Centre, National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Data set of national mortality surveillance (2015) [M]. Beijing: Popular Science Press, 2016.
- [15] 中国疾病预防控制中心慢性非传染性疾病预防控制中心, 国家卫生计生委统计信息中心. 中国死因监测数据集-2016[M]. 北京:中国科学技术出版社, 2017.
National Center for Chronic and Non-communicable Disease Control and Prevention, China CDC, Statistical Information Centre, National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Data set of national mortality surveillance (2016) [M]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 2017.
- [16] 中国疾病预防控制中心慢性非传染性疾病预防控制中心, 国家卫生计生委统计信息中心. 中国死因监测数据集-2017[M]. 北京:中国科学技术出版社, 2018.
National Center for Chronic and Non-communicable Disease Control and Prevention, China CDC, Statistical Information Centre, National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Data set of national mortality surveillance (2017) [M]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 2018.
- [17] 中国疾病预防控制中心慢性非传染性疾病预防控制中心, 国家卫生计生委统计信息中心. 中国死因监测数据集-2018[M]. 北京:中国科学技术出版社, 2019.
National Center for Chronic and Non-communicable Disease Control and Prevention, China CDC, Statistical Information Centre, National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Data set of national mortality surveillance (2018) [M]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 2019.
- [18] 中国疾病预防控制中心慢性非传染性疾病预防控制中心, 中华人民共和国国家卫生健康委员会统计信息中心. 中国死因监测数据集-2019[M]. 北京:中国科学技术出版社, 2020.
National Center for Chronic and Non-communicable Disease Control and Prevention, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Statistical Information Centre, Statistical Information Center of the National Health Commission of the People's Republic of China. Data set of national mortality surveillance-2019[M]. Beijing: Science and Technology of China Press, 2020.
- [19] 中国疾病预防控制中心慢性非传染性疾病预防控制中心, 中华人民共和国国家卫生健康委员会统计信息中心. 中国死因监测数据集-2020[M]. 北京:中国科学技术出版社, 2021.
National Center for Chronic and Non-communicable Disease Control and Prevention, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Statistical Information Centre, Statistical Information Center of the National Health Commission of the People's Republic of China. Data set of national mortality surveillance-2020[M]. Beijing: Science and Technology of China Press, 2021.
- [20] 中国疾病预防控制中心慢性非传染性疾病预防控制中心, 中华人民共和国国家卫生健康委员会统计信息中心. 中国死因监测数据集-2021[M]. 北京:中国科学技术出版社, 2022.
National Center for Chronic and Non-communicable Disease Control and Prevention, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Statistical Information Centre, Statistical Information Center of the National Health Commission of the People's Republic of China. Data set of national mortality surveillance-2021[M]. Beijing: Science and Technology of China Press, 2022.
- [21] Long Q, Guo L, Jiang WX, et al. Ending tuberculosis in China: health system challenges[J]. *Lancet Public Health*, 2021, 6(12): e948-953. DOI: 10.1016/S2468-2667(21)00203-6.
- [22] Dheda K, Perumal T, Moultrie H, et al. The intersecting pandemics of tuberculosis and COVID-19: population-level and patient-level impact, clinical presentation, and corrective interventions[J]. *Lancet Respir Med*, 2022, 10(6):603-622. DOI:10.1016/S2213-2600(22)00092-3.
- [23] 唐神结, 肖和平. 结核病流行趋势及治疗未来展望[J]. *中国实用内科杂志*, 2012, 32(8): 565-568. DOI: CNKI: SUN: SYNK.0.2012-08-003.
Tang SJ, Xiao HP. Epidemiology and prospective therapy for tuberculosis[J]. *Chin J Pract Intern Med*, 2012, 32(8): 565-568. DOI:CNKI:SUN:SYNK.0.2012-08-003.
- [24] 李辉章, 杜灵彬. Joinpoint 回归模型在肿瘤流行病学时间趋势分析中的应用[J]. *中华预防医学杂志*, 2020, 54(8): 908-912. DOI:10.3760/cma.j.cn112150-20200616-00889.
Li HZ, Du LB. Application of Joinpoint regression model in cancer epidemiological time trend analysis[J]. *Chin J Prev Med*, 2020, 54(8):908-912. DOI:10.3760/cma.j.cn112150-20200616-00889.
- [25] 戴萌萌, 裘燕, 尹文强, 等. 1990-2019 年中国结核病疾病负担现状及趋势分析[J]. *中国慢性病预防与控制*, 2022, 30(10):792-797. DOI: 10.16386/j. cjpcccd. issn. 1004-6194. 2022.10.017.
Dai MN, Xi Y, Yin WQ, et al. Analysis of the current status and trend of TB disease burden in China from 1990 to 2019[J]. *Chin J Prev Control Chron Dis*, 2022, 30(10): 792-797. DOI: 10.16386/j. cjpcccd. issn. 1004-6194.2022. 10.017.
- [26] Peer V, Schwartz N, Green MS. Gender differences in tuberculosis incidence rates-A pooled analysis of data from seven high-income countries by age group and time period[J]. *Front Public Health*, 2023, 10: 997025. DOI: 10.3389/fpubh.2022.997025.
- [27] Basu S, Stuckler D, Bitton A, et al. Projected effects of tobacco smoking on worldwide tuberculosis control: mathematical modelling analysis[J]. *BMJ*, 2011, 343: d5506. DOI:10.1136/bmj.d5506.
- [28] Rehm J, Rovira P, Llamosas-Falcón L, et al. Dose-response relationships between levels of alcohol use and risks of mortality or disease, for all people, by age, sex, and specific risk factors[J]. *Nutrients*, 2021, 13(8):2652. DOI: 10.3390/nu13082652.
- [29] Lin HH, Murray M, Cohen T, et al. Effects of smoking and solid-fuel use on COPD, lung cancer, and tuberculosis in China: a time-based, multiple risk factor, modelling study [J]. *Lancet*, 2008, 372(9648): 1473-1483. DOI: 10.1016/S0140-6736(08)61345-8.
- [30] Glaziou P, Floyd K, Raviglione MC. Global epidemiology of tuberculosis[J]. *Semin Respir Crit Care Med*, 2018, 39(3): 271-285. DOI:10.1055/s-0038-1651492.
- [31] Viana PVDS, Paiva NS, Villela DAM, et al. Factors

associated with death in patients with tuberculosis in Brazil: Competing risks analysis[J]. PLoS One, 2020, 15(10):e0240090. DOI:10.1371/journal.pone.0240090.

[32] 张瑜, 卢鹏, 竺丽梅, 等. 2005-2020 年江苏省结核病发病和死亡趋势分析[J]. 南京医科大学学报:自然科学版, 2022, 42(9):1309-1314,1334. DOI:10.7655/NYDXBNS20220918. Zhang Y, Lu P, Zhu LM, et al. Trend analysis of tuberculosis incidence and mortality in Jiangsu Province from 2005 to 2020[J]. J Nanjing Med Univ: Nat Sci, 2022, 42(9): 1309-1314,1334. DOI:10.7655/NYDXBNS20220918.

[33] Rojano B, Caminero JA, Hayek M. Curving tuberculosis: current trends and future needs[J]. Ann Glob Health, 2019, 85(1):5. DOI:10.5334/aogh.2415.

[34] Cui YR, Shen H, Wang F, et al. A long-term trend study of tuberculosis incidence in China, India and United States 1992-2017:A joinpoint and age-period-cohort analysis[J]. Int J Environ Res Public Health, 2020, 17(9): 3334. DOI: 10.3390/ijerph17093334.

[35] Li M, Lu L, Guo M, et al. Discrepancy in the transmissibility of multidrug-resistant *mycobacterium tuberculosis* in urban and rural areas in China[J]. Emerg Microbes Infect. 2023, 12(1): 2192301. DOI: 10.1080/22221751.2023.2192301.

[36] 曾瑜, 杨晓妍, 周海龙, 等. 中国人群结核病疾病负担的系统评价[J]. 中国循证医学杂志, 2018, 18(6):570-579. DOI: 10.7507/1672-2531.201801013. Zeng Y, Yang XY, Zhou HL, et al. Disease burden of tuberculosis in the Chinese population: a systematic review[J]. Chin J Evid Based Med, 2018, 18(6): 570-579. DOI:10.7507/1672-2531.201801013.

[37] Chen X, Giles J, Yao Y, et al. The path to healthy ageing in China: a Peking University-Lancet Commission[J]. Lancet, 2022, 400(10367):1967-2006. DOI: 10.1016/S0140-6736(22)01546-X.

[38] Lei YH, Wang JF, Wang Y, et al. Geographical evolutionary pathway of global tuberculosis incidence trends[J]. BMC Public Health, 2023, 23(1): 755. DOI: 10.1186/s12889-023-15553-7.

[39] Long Q, Qu Y, Lucas H. Drug-resistant tuberculosis control in China: progress and challenges[J]. Infect Dis Poverty, 2016, 5:9. DOI:10.1186/s40249-016-0103-3.



读者·作者·编者

本刊常用缩略语

本刊对以下较为熟悉的一些常用医学词汇将允许直接用缩写,即在文章中第一次出现时,可以不标注中文和英文全称。

OR	比值比	HBcAg	乙型肝炎核心抗原
RR	相对危险度	HBeAg	乙型肝炎e抗原
CI	可信区间	HBsAg	乙型肝炎表面抗原
P_n	第n百分位数	抗-HBs	乙型肝炎表面抗体
AIDS	艾滋病	抗-HBc	乙型肝炎核心抗体
HIV	艾滋病病毒	抗-HBe	乙型肝炎e抗体
MSM	男男性行为者	ALT	丙氨酸氨基转移酶
STD	性传播疾病	AST	天冬氨酸氨基转移酶
DNA	脱氧核糖核酸	HPV	人乳头瘤病毒
RNA	核糖核酸	DBP	舒张压
PCR	聚合酶链式反应	SBP	收缩压
RT-PCR	反转录聚合酶链式反应	BMI	体质指数
Ct 值	每个反应管内荧光信号达到设定的阈值时所经历的循环数	MS	代谢综合征
PAGE	聚丙烯酰胺凝胶电泳	FPG	空腹血糖
PFGE	脉冲场凝胶电泳	HDL-C	高密度脂蛋白胆固醇
ELISA	酶联免疫吸附试验	LDL-C	低密度脂蛋白胆固醇
A 值	吸光度值	TC	总胆固醇
GMT	几何平均滴度	TG	三酰甘油
HBV	乙型肝炎病毒	CDC	疾病预防控制中心
HCV	丙型肝炎病毒	WHO	世界卫生组织
HEV	戊型肝炎病毒		