

应用空间相关分析和圆分布 研究中国肺结核时空分布特征

兰小琴, 申 林

[摘要] 目的 研究中国肺结核发病的时空分布规律, 为防控肺结核提供依据。方法 收集 2013—2017 年全国各月肺结核报告发病数据进行圆分布分析, 计算平均角, 估计发病高峰日, 并进行雷氏检验。收集 2016 年我国各省(自治区和直辖市)的肺结核报告发病率进行全局空间相关性分析和局域空间相关性分析, 研究肺结核发病的空间聚集性。结果 中国肺结核报告发病数存在明显的时间集中趋势, 发病高峰集中在 3—5 月。中国肺结核报告发病数圆分布分析存在平均角, 经雷氏检验 $Z=13004.94$, $P < 0.05$ 。经全局空间相关性分析发现肺结核发病率在我国具有显著的空间聚集性, $I=0.487$, $Z=4.278$, $P < 0.05$ 。经局域空间相关性分析发现我国肺结核发病率在新疆、青海、西藏及其周围存在空间上的聚集, 其他区域未显示出明显的空间聚集性。结论 我国肺结核发病存在时间集中趋势和空间聚集性, 肺结核的时空分布特点对肺结核防控有重要意义。

[关键词] 肺结核; 圆分布; 空间聚集性; 空间自相关

[中国图书资料分类号] R181.3; R521

[文献标志码] A

[文章编号] 1007-8134(2021)02-0156-04

DOI: 10.3969/j.issn.1007-8134.2021.02.014

Application of spatial correlation analysis and circular distribution in seasonal and spatial distribution of pulmonary tuberculosis in China

LAN Xiao-qin*, SHEN Lin

Department of Clinical Laboratory, Beijing First Hospital of Integrated Chinese and Western Medicine, 100026, China

*Corresponding author, E-mail: klanqin2008@163.com

[Abstract] **Objective** To analyze the seasonal and spatial distribution characteristics of pulmonary tuberculosis in China and provide evidence for the prevention and control of pulmonary tuberculosis. **Methods** The reporting monthly number of pulmonary tuberculosis cases in China from 2013 to 2017 was analyzed by circular distribution method, for calculation of mean angle, estimation of peak incidence day and completion of Rayleigh's test. The reporting number of pulmonary tuberculosis cases in the provinces, autonomous regions and municipalities in China during 2016 was analyzed by the overall and local spatial autocorrelation analysis to investigate the spatial clustering of the incidence of pulmonary tuberculosis. **Results** There was an obvious seasonal centralization trend in the number of pulmonary tuberculosis cases reported in China. The peak incidence was concentrated from March to May. The circular distribution analysis on the reporting number of pulmonary tuberculosis cases showed the presence of mean angle, as detected by Rayleigh's test ($Z=13004.94$, $P < 0.05$). According to the overall spatial autocorrelation analysis, there was a significant spatial clustering in the incidence of pulmonary tuberculosis in China ($I=0.487$, $Z=4.278$, $P < 0.05$). Local spatial autocorrelation analysis indicated the presence of spatial clustering in the incidence of pulmonary tuberculosis in Xinjiang Uygur Autonomous Region, Qinghai Province, Tibet Autonomous Region and adjacent areas. No obvious spatial clustering was observed in other areas. **Conclusions** There are seasonal centralization and spatial clustering characteristics of the reporting incidence of pulmonary tuberculosis in China. The seasonal-spatial distribution characteristics of pulmonary tuberculosis are of great significance to the prevention of pulmonary tuberculosis.

[Key words] pulmonary tuberculosis; circular distribution; spatial cluster; spatial autocorrelation

结核病是由结核分枝杆菌感染引起的主要经呼吸道传播的慢性传染病。2018 年全球新发结核病约 1000 万例^[1]。我国是结核病高负担国家之一^[2], 肺结核是法定报告的乙类传染病, 2017 年全国新发肺结核 835 193 例, 报告发病率为 60.53/10 万^[3]。因此, 了解我国肺结核发病的时空分布特征, 有针对性的开展防控措施, 具有重要意义。

1 资料与方法

1.1 资料来源 2013 年 1 月—2017 年 12 月肺结核发病数据来源于国家卫生健康委员会疾病预防控制中心网站^[3], 用以研究我国肺结核发生的季节性集中趋势; 2016 年我国各省市的肺结核报告发病率来自《2017 中国卫生和计划生育统计年鉴》^[4], 用以研究我国 2016 年各省市肺结核发生的空间相关性。

1.2 方法

1.2.1 圆分布^[5-7] 采用圆分布研究我国肺结核发病的季节变化特征。一组圆分布资料, 如果有集中于某个时间段发生的倾向, 这一倾向性可用平

[作者单位] 100026, 北京市第一中西医结合医院检验科(兰小琴), 口腔科(申林)

[通信作者] 兰小琴, E-mail: klanqin2008@163.com

均角表示。平均角的计算方法是：

(1) 计算 $\sin\alpha_i$ 和 $\cos\alpha_i$ 的均值，分别用 Y 和 X 表示， f 表示频数， n 表示肺结核患者的总数；

$$X = (\sum f_i \cos\alpha_i) / n, Y = (\sum f_i \sin\alpha_i) / n$$

(2) 计算角度离散程度指标 r 值；

$$r = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

(3) 计算平均角的正弦 $\sin\alpha = Y/r$ 和余弦 $\cos\alpha = X/r$ ；

(4) 计算角离散程度 S ；

$$S = (180^\circ / \pi) \sqrt{-2 \ln r}$$

(5) 检验方法采用雷氏 Z 值检验。 $Z = nr^2$ ， $Z > Z_{0.05}$ 表示有统计学意义。

1.2.2 空间分析方法

1.2.2.1 Moran's I 全局空间相关性分析 [8-9] 空间分布的对象一般不是孤立存在的，且相距较近的影响力大于较远的。Moran's I 全局空间相关性分析通常用来描述某一现象在空间上的积聚状态和相关程度。

Moran's I 统计表述如下公式：

$$I = \frac{n \sum \sum w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{W \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

(1) 式中： n 为空间对象数目， x_i ， x_j 为观测值， w_{ij} 为研究对象 i ， j 间的权重。 $I > 0$ 表示研究对象之间存在空间上的正向自相关关系； $I < 0$ ，表示研究对象之间存在空间上的负向自相关关系； $I = 0$ 时，表示空间上是独立的、非相关的和随机的。

1.2.2.2 局域空间相关性分析 局域空间相关性分析可以得出每个区域的取值，从而判断出空间上的聚集或扩散状态。Local Moran 统计模型，其具体形式表述如下公式：

$$I_i = z_i \sum_j w_{ij} z_j, z_i = (x_i - \bar{x}) / \delta \quad (2)$$

(2) 式 δ 表示 x_i 的标准差，其余各字母含义同 Moran's I 法。

当 $|Z| > 1.96$ 时，可以认定为小概率，拒绝 H_0 假设 ($P < 0.05$)，存在空间相关性。

1.3 统计学处理 统计分析采用 SPSS 22.0 和 ArcView 3.2 软件。

2 结果

2.1 我国 2013—2017 年肺结核发病数变化趋势 2013—2017 年我国肺结核报告发病数总体呈下降趋势 (图 1)，各年度 3—5 月的肺结核报告发病数最多 (图 2)。

2.2 我国 2013—2017 年肺结核发病数的圆分布模型分析 平均角的假设检验： $Z = nr^2 = 13004.94 > 1.96$ ，

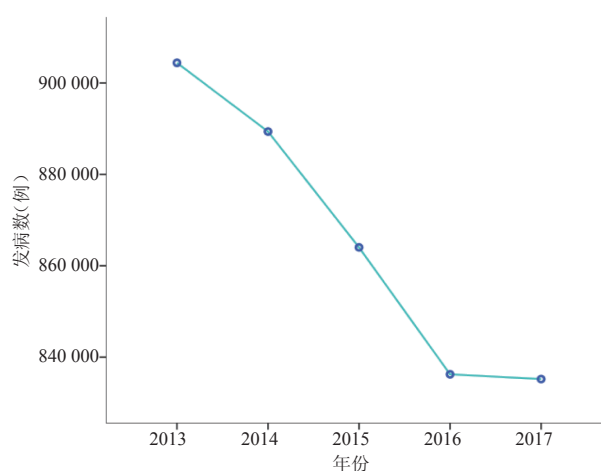


图 1 2013—2017 年肺结核报告发病数趋势
Figure 1 Trend of reporting number of pulmonary tuberculosis cases from 2013 to 2017

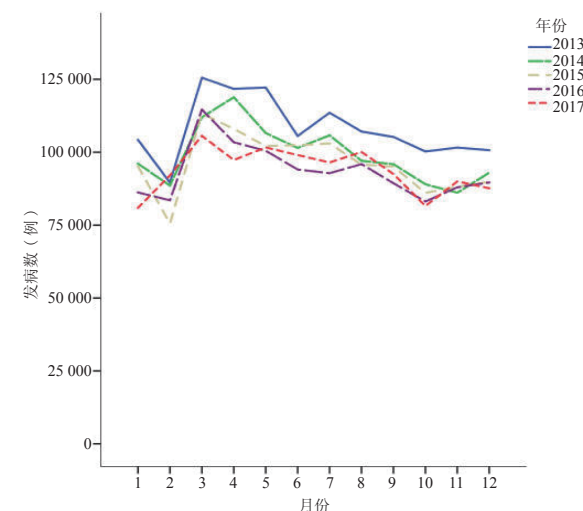


图 2 2013—2017 年各月份肺结核报告发病数
Figure 2 Reporting number of pulmonary tuberculosis cases each month from 2013 to 2017

根据 $\sin\alpha > 0$ 和 $\cos\alpha < 0$ ，推断平均角在第二象限， $\alpha = 133.64^\circ$ ，相当于 5 月 16 日，即平均发病高峰在 5 月 16 日 (表 1)。

2.3 我国 2016 年肺结核报告发病率的空间分布特征

2.3.1 我国 2016 年肺结核报告发病率的空间分布 我国 2016 年各省 (自治区、直辖市) 肺结核报告发病率显示，肺结核报告发病率较高的为新疆、西藏、贵州、青海等；报告发病率较低的为天津、上海、北京等 (表 2)。

2.3.2 Moran's I 全局空间相关性分析 通过 Moran's I 统计对 2016 年我国肺结核报告发病率进行分析， $I = 0.487$ ， $Z = 4.278$ ， $P < 0.05$ ，肺结核发病率在空间上存在正相关，反映了我国肺结核报告发病率存在空间聚集性。

表 1 2013 年 1 月—2017 年 12 月中国肺结核报告发病数圆分布分析
Table1 Circular distribution analysis on reporting number of pulmonary tuberculosis cases in China from January 2013 to December 2017

时间	肺结核例数 f	角度 α	$\sin\alpha$	$\cos\alpha$	$f\sin\alpha$	$f\cos\alpha$
1 月	462 548	15	0.2588	0.9659	119707.42	446775.11
2 月	429 236	45	0.7071	0.7071	303512.78	303512.78
3 月	571 026	75	0.9659	0.2588	551554.01	147781.53
4 月	549 240	105	0.9659	-0.2588	530510.92	-142143.31
5 月	532 924	135	0.7071	-0.7071	376830.56	-376830.56
6 月	502 462	165	0.2588	-0.9659	130037.17	-485328.05
7 月	511 563	195	-0.2588	-0.9659	-132392.50	-494118.70
8 月	495 836	225	-0.7071	-0.7071	-350605.64	-350605.64
9 月	478 029	255	-0.9659	-0.2588	-461728.21	-123713.91
10 月	439 915	285	-0.9659	0.2588	-424913.90	113850.00
11 月	453 730	315	-0.7071	0.7071	-320832.48	320832.48
12 月	460 742	345	-0.2588	0.9659	-119240.03	445030.70
合计	5 887 251				202440.09	-194957.56
平均	—				0.034	-0.033

表 2 2016 年中国各省（自治区、直辖市）肺结核报告发病率
Table 2 Reporting incidence of pulmonary tuberculosis in provinces, autonomous regions and municipalities in China during 2016

省份	报告发病率 (1/10 万)	省份	报告发病率 (1/10 万)
北京	31.01	天津	21.14
河北	45.34	山西	38.65
内蒙古	48.30	辽宁	51.40
吉林	49.76	黑龙江	80.16
上海	27.28	江苏	35.93
浙江	48.78	安徽	56.77
福建	42.74	江西	71.99
山东	30.78	河南	60.13
湖北	74.70	湖南	75.50
广东	71.82	广西	86.27
海南	84.18	重庆	73.34
四川	65.66	贵州	130.66
云南	55.47	西藏	154.37
陕西	56.30	甘肃	58.13
青海	128.70	宁夏	40.04
新疆	185.66		

2.3.3 LISA 局域空间相关性分析 在 $\alpha=0.05$ 的水平下可以认为肺结核发病率在中国形成“正热点区域”：新疆（Local Moran’s $I=4.060$, $Z=7.736$, $P < 0.05$ ），青海（Local Moran’s $I=2.210$, $Z=4.914$, $P < 0.05$ ），西藏（Local Moran’s $I=2.679$, $Z=5.944$, $P < 0.05$ ），表明肺结核发病率在新疆、青海、西藏及其周围存在空间上的聚集，其他区域未显示出明显的空间聚集性（ $Z < 1.96$ ）。

3 讨 论

疾病的流行特征通过疾病在人群、时间、空间的三间分布得以实现，是流行过程的可见形式。掌握肺结核的时空分布是结核病研究中一个非常重要的部分，有助于拟定防治策略，以便有效控制疾病。疾病的空间分析方法和圆分布分析已被应用于疾病的流行状况分析。

2013—2017 年我国肺结核报告发病数呈现持续下降趋势。但我国人口基数大，人员流动性大，且肺结核经呼吸道传播，该病仍是危害人民健康的主要传染病。结核病控制效果不佳原因很多，AIDS、糖尿病和自身免疫性疾病等影响机体免疫功能的疾病发病率上升，以及耐多药结核尤其是广泛耐药结核发病率上升是重要因素^[10]；围绕结核病的防治工作，我国各地市及基层都已建立了结核病网络防控体系，积极开展结核病疫情监测和防治工作^[11]。充分利用大数据平台技术，整合信息资源，了解肺结核发病的时空特点，对肺结核的防控工作有重要意义。

本研究显示我国 2013—2017 年各年度 3—5 月的肺结核报告发病数最多，这与国内外对肺结核的季节性特征分析基本一致。Parrinello 等^[12]对纽约市肺结核发病季节性研究中发现 4 月为肺结核发病高峰期，10 月为低谷期。Cherif 等^[13]通过对突尼斯肺结核季节性特征分析，结果提示发病高峰期为春季（3—5 月），秋季为低谷期。薛浩等^[14]采用改良圆形分布法对盐城市肺结核季节特征进行分析发现 3—5 月、8—9 月为该地肺结核高发季。肺结核发病季节性特征可能与气候因素、人体免疫力、人群的季节性活动等有关。准确掌握肺结核发病的季节性特征和周期性规律有助于相关部门科学、有效进行肺结核防控。

经全局空间相关性分析发现 2016 年肺结核报告发病率在中国具有显著的空间聚集性。有研究表明肺结核发病率与经济发展水平存在负相关^[15-16]，高发病率反映了该区域肺结核存在较高的流行强度。局域空间自相关分析发现明肺结核发病率在新疆、青海、西藏及其周围存在空间上的积聚，对于这些“热点”区域应该不断加强疫情监测和防控。

【参考文献】

- [1] 李硕, 张云辉, 王永怡, 等. 2019 年国内外传染病领域重要事件回顾 [J]. 传染病信息, 2020, 33(1):10-17.
 - [2] 徐莉娟, 刘华. 肺结核耐药情况及影响因素分析 [J]. 传染病信息, 2018, 31(3):258-260.
 - [3] 国家卫生健康委员会疾控局. 全国法定传染病概况 [EB/OL]. [2019-08-21]. http://www.nhfpc.gov.cn/jkj/s3578/new_list.shtml.
 - [4] 国家卫生和计划生育委员会. 2017 中国卫生和计划生育统计年鉴 [M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2017.
 - [5] 金丕焕. 医学统计学 [M]. 上海: 复旦大学出版社, 2004:211-218.
 - [6] 付伟, 姜超, 张晶, 等. 应用圆分布法分析某院精神疾病季节分布特征 [J]. 南昌大学学报 (医学版), 2018, 58(1):85-87.
 - [7] 戴启刚. 圆分布的平均角及其区间估计方法在传染病发病高峰评估中的应用探讨 [J]. 中国卫生统计, 2015, 2(1):77-81.
 - [8] Grigoroglou C, Munford L, Webb RT, *et al.* Spatial distribution and temporal trends in social fragmentation in England, 2001-2011: a national study [J]. *BMJ Open*, 2019, 9(1). DOI: 10.1136/bmjopen-2018-025881.
 - [9] DePina AJ, Andrade AJB, Dia AK, *et al.* Spatiotemporal characterization and risk factor analysis of malaria outbreak in Cabo Verde in 2017 [J]. *Trop Med Health*, 2019, 47(3):1-13.
 - [10] 王心静, 王仲元. 结核病实验室诊断新技术的临床应用 [J]. 传染病信息, 2014, 27(6):373-376.
 - [11] 胡燕琴, 戴金华, 廖于峰, 等. JCI 标准下结核病实验室生物安全的管理 [J]. 中国卫生检验杂志, 2018, 28(15):1917-1918.
 - [12] Parrinello CM, Crossa A, Harris TG. Seasonality of tuberculosis in New York City, 1990-2007 [J]. *Int J Tuberc Lung Dis*, 2012, 16(1):32-37.
 - [13] Cherif J, Toujani S, Sebei A, *et al.* Seasonality of pulmonary tuberculosis in Tunisia [J]. *Eur Respir J*, 2015, 46(Suppl 59):PA2730.
 - [14] 薛浩, 刘荣海, 张红军, 等. 改良圆形分布法分析肺结核登记的季节性特征 [J]. 浙江预防医学, 2016, 28(9):924-926.
 - [15] 张怀庆, 韩志英, 顾凯侃, 等. 上海市静安区 2012-2016 年户籍人口肺结核病疫情分析 [J]. 上海预防医学, 2018, 30(3):176-183.
 - [16] 阙萍, 许小兰, 文小焱, 等. 重庆市 2011 至 2014 年肺结核发病率与人均 GDP 水平的时空分析 [J]. 重庆医科大学学报, 2017, 42(10):1328-1331.
- (2019-05-11 收稿 2020-11-18 修回)
(本文编辑 闫晶晶)
-
- (上接第 135 页)
- [3] Wang D, Hu B, Hu C, *et al.* Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus-infected pneumonia in Wuhan, China [J]. *JAMA*, 2020, 323(11):1061-1069.
 - [4] Chen N, Zhou M, Dong X, *et al.* Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study [J]. *Lancet*, 2020, 395(10223):507-513.
 - [5] Huang C, Wang Y, Li X, *et al.* Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China [J]. *Lancet*, 2020, 395(10223):497-506.
 - [6] Guan WJ, Ni ZY, Hu Y, *et al.* Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in China [J]. *N Engl J Med*, 2020, 382(18):1708-1720.
 - [7] 国家卫生健康委办公厅. 新型冠状病毒肺炎诊疗方案 (试行第七版) [J]. 传染病信息, 33(1):1-6, 26.
 - [8] George MN, Horia P, Sterghios AM, *et al.* Comprehensive analysis of drugs to treat SARS-CoV-2 infection: mechanistic insights into current COVID-19 therapies (Review) [J]. *Int J Mol Med*, 2020, 46(2):467-488.
 - [9] NCBI GenBank. Wuhan seafood market pneumonia virus isolate Wuhan-Hu-1, complete genome[EB/OL]. (2020-09-30)[2021-03-24]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/MN908947>.
 - [10] Xu XT, Chen P, Wang JF, *et al.* Evolution of the novel coronavirus from the ongoing Wuhan outbreak and modeling of its spike protein for risk of human transmission [J]. *Sci China Life Sci*, 2020, 63(3):457-460.
 - [11] Hui DS, Azhar EI, Madani TA, *et al.* The continuing 2019-nCoV epidemic threat of novel coronaviruses to global health—the latest 2019 novel coronavirus outbreak in Wuhan, China [J]. *Int J Infect Dis*, 2020, 91:264-266. DOI: 10.1016/j.ijid.2020.01.009.
 - [12] Babapoor-Farrokhran S, Gill D, Walker J, *et al.* Myocardial injury and COVID-19: possible mechanisms [J]. *Life Sci*, 2020, 253:117723. DOI: 10.1016/j.lfs.2020.117723.
 - [13] Tomasoni D, Italia L, Adamo M, *et al.* COVID-19 and heart failure: from infection to inflammation and angiotensin II stimulation. searching for evidence from a new disease [J]. *Eur J Heart Fail*, 2020, 22(6):957-966.
 - [14] Clerkin KJ, Fried JA, Raikhelkar J, *et al.* Coronavirus disease 2019 (COVID-19) and cardiovascular disease [J]. *Circulation*, 2020, 141(20):1648-1655.
 - [15] Inciardi RM, Adamo M, Lupi L, *et al.* Characteristics and outcomes of patients hospitalized for COVID-19 and cardiac disease in Northern Italy [J]. *Eur Heart J*, 2020, 41(19):1821-1829.
 - [16] Bansal M. Cardiovascular disease and COVID-19 [J]. *Diabetes Metab Syndr*, 2020, 14(3):247-250.
 - [17] Han H, Xie L, Liu R, *et al.* Analysis of heart injury laboratory parameters in 273 COVID-19 patients in one hospital in Wuhan, China [J]. *J Med Virol*, 2020, 92(7):819-823.
 - [18] Zhou F, Yu T, Du R, *et al.* Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study [J]. *Lancet*, 2020, 395(10229):1054-1062.
 - [19] Chen T, Wu D, Chen H, *et al.* Clinical characteristics of 113 deceased patients with coronavirus disease 2019: retrospective study [J]. *BMJ*, 2020, 368:m1091. DOI: 10.1136/bmj.m1091.
 - [20] 唐敬柯, 梁联哨, 冯杏妮, 等. 57 例新型冠状病毒肺炎患者临床特点分析 [J]. 传染病信息, 2020, 33(4):317-320.
- (2020-05-06 收稿 2021-03-24 修回)
(本文编辑 揣征然)