

基于地理信息系统的南京市三级综合医院空间布局特征分析^{*}

周 健^{1,2} 张 敏^{1,2} 杨 雪^{1,2} 施雯慧^{1,2} 孙志明^{1,2}

(¹ 江苏省卫生健康发展研究中心 南京 210036

² 国家卫生健康委计划生育药具不良反应监测中心 南京 210036)

〔摘要〕 目的/意义 采用地理信息系统技术对南京市三级综合医院空间聚集性进行初步探索分析和可视化处理,为合理配置医疗卫生资源提供参考。方法/过程 采用泰森多边形、平均最近邻分析和多距离空间聚类分析等空间分析方法,对南京市三级综合医院的空间布局特征进行分析评价。结果/结论 泰森多边形最大面积是最小面积的 285 倍。最近邻比率为 1.009 7, Z 为 0.092 3, P 为 0.926 4。以医院所在区人口密度的倒数为权重时,观测 K 值显著小于期望 K 值,差异有统计学意义。当仅考虑空间位置时,南京市三级综合医院空间布局趋于随机分布;考虑人口密度权重后,其分布呈离散性分布。

〔关键词〕 地理信息系统;综合医院;空间分布;南京

〔中图分类号〕 R-058 〔文献标识码〕 A 〔DOI〕 10.3969/j.issn.1673-6036.2023.06.006

Analysis of Spatial Distribution Characteristics of Tertiary General Hospitals in Nanjing Based on Geographic Information System

ZHOU Jian^{1,2}, ZHANG Min^{1,2}, YANG Xue^{1,2}, SHI Wenhui^{1,2}, SUN Zhiming^{1,2}

¹ Jiangsu Health Development Research Center, Nanjing 210036, China; ² National Health Commission Contraceptives Adverse Reaction Surveillance Center, Nanjing 210036, China

〔Abstract〕 **Purpose/Significance** Geographic information system (GIS) technology is used to preliminarily explore and analyze the spatial aggregation and visualization processing of Nanjing tertiary general hospitals and to provide references for rational allocation of medical and health resources. **Method/Process** Tyson polygon, average nearest neighbor analysis and Ripley's K function are used to describe and analyze the spatial distribution characteristics of tertiary general hospitals in Nanjing. **Result/Conclusion** The maximum area of the Tyson polygon is 285 times the minimum area. The nearest neighbor ratio is 1.009 7, $Z = 0.092\ 3$, $P = 0.926\ 4$. When weighted with the reciprocal of population densities of districts, the observed K value is significantly lower than the expected K value. When only the spatial location is considered, the distribution of tertiary general hospitals in Nanjing tend to be randomly distributed; While weighted with the reciprocal of population densities, the distribution becomes discrete.

〔Keywords〕 geographic information system (GIS); general hospital; spatial distribution; Nanjing

〔修回日期〕 2022-09-16

〔作者简介〕 周健,副研究员;通信作者:孙志明,研究员,硕士生导师。

〔基金项目〕 江苏省卫生健康委员会医学科重点项 (项目编号:ZDB2020038);江苏省高层次卫生人才“六个一工程”拔尖人才项目 (项目编号:LGY2020009);江苏省卫生健康委员会科研课题 (项目编号:F202172)。

1 引言

医院是提供疾病诊断、治疗、康复、预防和保健等医疗服务的专业机构，是我国医疗卫生机构的主要形式。随着城镇化飞速发展，城市的空间结构、人口分布和结构相应变化，因此研究现有医院空间布局是否与城市协同发展很有必要。2015 年国务院办公厅印发《关于推进分级诊疗制度建设的指导意见》，明确提出“城市三级医院主要提供急危重症和疑难复杂疾病的诊疗服务”^[1]。三级综合医院是跨区域提供医疗卫生服务，具有医疗、教学、科研、公共卫生服务等功能的医疗机构^[2]。三级综合医院空间布局是否科学合理对方便城乡居民就医、扩大优质医疗资源覆盖面、促进区域医联体建设和分级诊疗具有重要意义。

地理信息系统（geographic information system, GIS）是基于空间数据库，用于获取、存储、查询、分析和显示地理空间数据的计算机系统^[3-4]。具有强大空间分析工具和制图功能的 GIS 可准确直观地描述医疗资源的空间布局特征，分析医疗资源的空间聚集性^[5-7]。本文以南京市为例，采用 GIS 技术对南京市三级综合医院空间聚集性进行初步探索分析和可视化处理，为合理配置医疗卫生资源提供参考。

2 资料与方法

2.1 资料来源

以南京市 2021 年所有 25 家三级综合医院（含中医类医院）为研究对象。医院名册来源于南京市卫生健康委员会官网。医院经纬度坐标来自百度地图。南京市各行政区常住人口数量相关数据来源于《南京市第七次全国人口普查公报》。行政区域面积相关数据来源于 2021 年《南京统计年鉴》。以南京市行政区域矢量地图作为研究区域的底图。

2.2 研究方法

2.2.1 泰森多边形 泰森多边形是一组由连接相邻点直线的垂直平分线组成的连续多边形^[8]。基于

现有空间点，对空间区域进行划分，生成与空间点数量相等的泰森多边形。新形成的泰森多边形具有唯一属性，即每个多边形仅包括 1 个中心点（医院），每个多边形内的任何位置与其中心点距离都比与其他多边形内中心点近，因此某个泰森多边形一定程度上反映某个空间中心点的影响范围。泰森多边形面积小的区域，该医院服务范围小，说明这一区域医院数量相对较多，居民可就近就医。相反，泰森多边形面积大的区域，该医院服务范围大，说明这一区域医院分布相对较少，居民不能近距离就医。绘制医院泰森多边形可以直观展示医院医疗服务所覆盖直线距离最近的区域，突破行政区划界限，为居民寻找距离最近的综合医院，符合就近就医的指导原则^[9]。

2.2.2 平均最近邻分析 平均最近邻分析法主要用于计算某种要素（点、线或面状）在全局范围内的空间分布是离散、聚集还是随机分布。通过测量每个点与其临近点的平均距离，并与假设随机分布状态下的每个点与其临近点的平均距离进行比较。如果实际平均距离小于假设随机分布的平均距离，则要素在全局范围内为聚集分布；反之则表示要素在空间趋于离散分布；如果实际平均距离等于假设随机分布的平均距离，则表示要素空间分布为随机分布^[10]。平均最近邻比率（nearest neighbor ratio, NNR）计算方式为：

$$NNR = \frac{\overline{D_o}}{\overline{D_e}} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i/n}{0.5/\sqrt{n/A}} \tag{1}$$

其中， $\overline{D_o}$ 代表每个点与其最邻近点之间的观测平均距离， $\overline{D_e}$ 代表随机分布模式下研究点之间的期望平均距离。 d_i 代表第 i 个点与其最邻近点间的距离， n 代表区域内研究点数量， A 代表可以包括所有点最小外接矩形的面积或研究范围的面积。NNR 值如大于 1 表示研究点趋于离散分布；如小于 1 表示研究点趋于聚集分布；越接近 1 则研究点越趋于随机分布。

2.2.3 多距离空间聚类分析 多距离空间聚类分析（Ripley's K 函数）是测量不同尺度范围内空间点分布聚集与离散程度的方法^[11]。该方法可以弥补

平均最近邻分析法没有考虑多种距离空间扫描的不足。其原理是通过不同距离对要素周边进行扫描，计算扫描范围内要素数量，如果较近距离出现较多要素，并且较远距离出现较少要素，则表现为聚集分布^[12]。计算特定距离的观测 K 值，如大于预期 K 值且大于可信区间上限，则表示在该距离的分布聚类程度更高；反之该分布的离散程度更高，Ripley's K 函数计算方式为：

$$L(d) = \sqrt{\frac{A \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n k(i, j)}{\pi n(n-1)}}$$

(2)

其中， d 代表距离， n 代表要素总数目， A 代表要素的总面积， $k(i, j)$ 代表权重^[13]。

3 结果

3.1 南京市三级综合医院分布情况

南京市位于江苏省西南部、长江下游，处于北纬 31°14′~32°37′，东经 118°22′~119°14′，东西最大横距约 70 千米，南北最大纵距约 150 千米，市域平面呈南北长东西窄，面积 6 587 平方千米，下辖 11 个市辖区。截至 2020 年，常住人口 9 314 685 人。全市共有三级综合医院 25 家，其中分布最多的是鼓楼区（5 家），其次为江宁区（4 家），秦淮区和浦口区各 3 家，玄武、建邺、栖霞和溧水区各 2 家，六合区和高淳区各 1 家，雨花台区无三级综合医院。

3.2 泰森多边形可视化结果

采用 ArcMap 10.8 软件泰森多边形工具，绘制南京市 25 家三级综合医院的泰森多边形。每个泰森多边形包含唯一 1 家医院，多边形面积大小不同，其中最大面积是 1 596.75 平方千米，最小面积仅为 5.61 平方千米，相差 285 倍。面积大小差异可以直观展示医院聚集或分散的空间分布情况。

3.3 平均最近邻分析

采用 ArcMap 10.8 软件平均最近邻空间统计工具，分析南京市三级综合医院分布特征。25 家医院平均观测距离为 6 581.63 米，期望平均距离是 6 518.70 米，NNR 为 1.009 7， Z 为 0.092 3， P 为 0.926 4。结果表明南京市三级医院的空间布局趋于随机分布，见图 1。

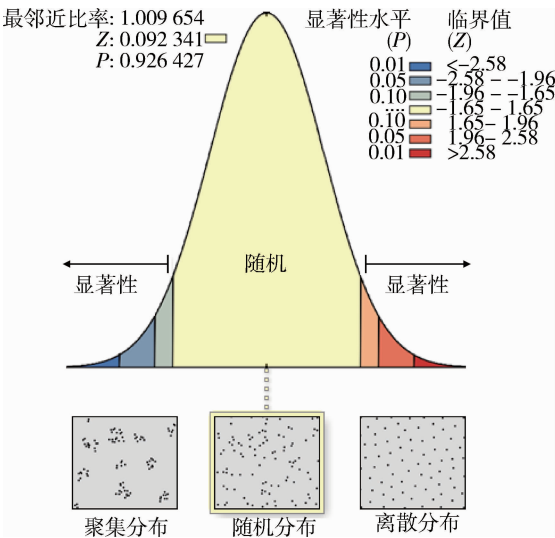


图 1 平均最近邻分析结果

3.4 基于人口密度的多距离空间聚类分析

采用 ArcMap 10.8 软件多距离空间聚类分析工具，对南京市三级综合医院空间点数据进行 Ripley's K 函数分析，排列次数选择 999 次，置信区间为 99.9%。以各家医院所在行政区人口密度的倒数为权重，研究区域选定为南京市投影地图，其他参数保持不变。结果显示，在前 4 个不同距离时，观测 K 值介于可信区间下限和上限之间，医院呈聚集或离散分布无统计学意义；在后 6 个不同距离时，观测 K 值小于期望 K 值，且小于可信区间下限，医院呈离散性分布，差异有统计学意义，见表 1。

表 1 南京市三级综合医院多距离空间聚类分析结果

距离次数	期望 K 值	观测 K 值	差值	可信区间下限	可信区间上限
1	3 128.08	2 962.68	- 165.40	857.07	13 514.48
2	6 256.17	9 424.36	3 168.19	4 527.33	21 877.01
3	9 384.25	10 836.14	1 451.89	8 559.55	26 647.39

续表 1

距离次数	期望 K 值	观测 K 值	差值	可信区间下限	可信区间上限
4	12 512. 33	11 681. 93	- 830. 40	10 902. 44	29 321. 60
5	15 640. 42	12 931. 64	- 2 708. 77	13 792. 44	31 250. 26
6	18 768. 50	14 719. 14	- 4 049. 35	15 543. 54	33 147. 10
7	21 896. 58	15 990. 97	- 5 905. 61	18 340. 04	34 955. 87
8	25 024. 67	16 393. 30	- 8 631. 37	19 277. 73	35 431. 64
9	28 152. 75	17 547. 85	- 10 604. 90	20 247. 84	35 613. 41
10	31 280. 83	18 816. 59	- 12 464. 24	20 795. 55	35 829. 26

4 讨论

医疗机构布局是区域医疗卫生服务体系规划的重要内容，在扩容优质医疗资源和区域均衡布局、优化卫生资源要素配比、实现医疗服务公平性与可及性等方面具有重要作用。GIS 具有强大的空间分析和可视化表达能力，在地理测绘、交通规划、疾病监测、基础设施管理等领域已得到普遍应用^[4]。近年来 GIS 越来越多地应用于公共卫生和健康领域，如疾病监测、疾病防控、突发公共卫生事件处置、卫生资源配置等方面，为科学决策提供依据，促进区域卫生健康事业可持续发展^[14]。基于 GIS 空间分析技术，医疗资源的空间可达性研究方法较多，国内外尚未形成统一公认的方法。常用的有比例法、核密度法、最近距离法、两步移动搜索法（two step floating catchment area, 2SFCA）和潜能模型^[15-17]。本研究结合南京市人口普查数据，运用泰森多边形、平均最近邻分析和多距离空间聚类分析等多种空间分析工具对南京市三级综合医院空间聚集性进行探索分析。

4.1 三级医院空间服务区域相差较大

泰森多边形分析结果显示，南京市三级综合医院泰森多边形覆盖面积最大达 1 596. 75 平方千米，最小仅 5. 61 平方千米，差距悬殊。张玥等^[12]对天津市三级医院空间分布的研究显示，泰森多边形最大和最小面积差有 4 000 余倍。面积大小差异可以直观反映医院聚集情况。泰森多边形面积越大说明该医院服务区域越大，导致该医院服务压力较大，而区域内居民的选择相对较少，应考虑在这些区域

新建综合医院，解决优质医疗资源不足的问题。

4.2 南京市三级综合医院空间布局合理

平均最近邻分析结果提示南京市三级综合医院呈现弱离散分布，空间布局趋于随机分布，平均观测距离为 6 581. 63 米。张玥等^[12]研究显示天津市三级医院观测平均距离为 4 583. 48 米，林丹淳等^[18]研究显示广州市综合医院平均近邻距离为 2 348. 30 米。刘恒^[19]研究显示贵阳市主城区综合医院平均最近邻距离为 898. 90 米。上述研究结果平均观测距离大小与研究区域是全市范围还是主城区，以及研究医院级别和类别的选择有关，本研究关注三级综合医院，可能是平均观测距离较大的原因之一。

基于人口密度的多距离空间聚类分析结果显示南京市三级综合医院呈离散性分布，反映出南京市三级综合医院在空间布局时考虑了人口分布特征，具有一定科学性和合理性。当研究区域人口密度变大，三级医院数量也应随之增加，以满足居民就医需求。当区域内三级医院数量一定时，人口密度越高，则医院聚集性越小，即医院的聚集性与人口密度呈负相关关系。许昕等^[20]对镇江市中心城区医疗机构空间分布研究结果显示，人口密度越大的地区，医疗服务机构的优势度越明显，人口密度与医院优势度基本呈正相关。徐丰等^[21]基于可达性的郑州市医疗资源空间均等化研究结果显示，在高医疗可达性的区域人口密度较大。因此，运用人口密度作为权重分析卫生资源的空间公平性是合理的。纳入人口密度权重进行分析，南京市三级综合医院呈离散分布、空间布局合理，但也存在个别区域仍无三级综合医院、部分区域三级医院不足的现状。

5 结语

本文研究结论与实际状况较为吻合,为南京市医疗机构布局规划、促进医疗卫生资源优化配置提供参考。但由于数据限制,仅从医疗服务供给方角度评价医疗机构空间分布,尚缺乏对居民实际医疗需求的考虑。医疗资源设施空间可达性评价需要考虑的因素很多,区域人口密度、年龄结构、服务范围、地理环境、交通状况、历史因素和政策导向等都会对医院空间布局产生影响,有待进一步研究与探讨。今后研究中将通过采集多源数据,充分考虑医疗机构床位、医护、专科特色等医疗服务供给方特征,区域居民年龄构成、疾病谱、经济水平等医疗服务需求方属性特征,以及医疗服务供需双方的实际距离和交通连接方式等因素,采用两步移动搜索法^[21-26]开展医疗机构空间可达性研究,以获得更合理的结果和结论。

参考文献

- 1 国务院办公厅. 关于推进分级诊疗制度建设的指导意见 [EB/OL]. [2022-09-11]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-09/11/content_10158.htm.
- 2 原国家卫生和计划生育委员会办公厅. 三级综合医院医疗服务能力指南(2016年版)[EB/OL]. [2022-09-11]. <http://www.nhc.gov.cn/zyygj/s3594q/201610/6e6780e8b7c24c57bf386d35e9f952df.shtml>.
- 3 CHANG K T. 地理信息系统导论 [M]. 陈健飞, 胡嘉骢, 陈颖彪, 译. 北京: 科学出版社, 2019.
- 4 凡滇琳, 冯启明. 地理信息系统在卫生事业管理领域中的应用进展 [J]. 广西医学, 2020, 42 (13): 1731-1734.
- 5 何刚, 李雅红, 杨子立, 等. 基于 GIS 技术内蒙古自治区卫生资源配置空间评价研究 [J]. 中国卫生统计, 2020, 37 (5): 695-697.
- 6 王利, 殷钟秀. 基于 GIS 的大连市区医院布局评价研究 [J]. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 2018, 41 (1): 100-105.
- 7 张珊, 刘诗利, 朱宇鹏. 基于 GIS 的公共医疗设施空间可达性分析 [J]. 地理空间信息, 2019, 17 (3): 55-58, 10.
- 8 周少钦, 李婷婷, 罗舒仁, 等. 基于地理信息系统的广西医疗服务空间可达性研究 [J]. 中国卫生统计, 2019, 36 (3): 384-387, 391.

- 9 赵鹏. 武汉市医院布局优化研究 [D]. 武汉: 华中师范大学, 2011.
- 10 赖长强, 巫细波. 基于 GIS 方法的特大型城市酒店空间布局特征研究——基于广州酒店 POI 数据分析 [J]. 现代城市研究, 2019 (8): 66-74.
- 11 田芳, 张政, 杨紫琼. 基于多源数据的河北省涉县公共服务设施优化研究 [J]. 石家庄学院学报, 2021, 23 (3): 23-29.
- 12 张玥, 符刚. 基于 GIS 的天津市三级医院空间分布特征研究 [J]. 中国卫生事业管理, 2018, 35 (1): 77-80.
- 13 温明鑫, 庞震苗, 徐庆锋. 广州市中医医院空间分布特征研究 [J]. 实用医学杂志, 2021, 3 (19): 2544-2548.
- 14 高倩, 王勇, 徐燎宇. 地理信息系统在医疗卫生领域应用研究进展 [J]. 医学信息学杂志, 2020, 41 (5): 53-57.
- 15 LUO W, WANG F. Measures of spatial accessibility to health care in a GIS environment: synthesis and a case study in the Chicago region [J]. Environment and planning B: planning and design, 2003, 30 (6): 865-884.
- 16 宋正娜, 陈雯. 基于潜能模型的医疗设施空间可达性评价方法 [J]. 地理科学进展, 2009, 28 (6): 848-854.
- 17 郑朝洪. 基于 GIS 的县级市医疗机构空间可达性分析——以福建省石狮市为例 [J]. 热带地理, 2011, 31 (6): 598-603.
- 18 林丹淳, 刘凯, 谭敏, 等. 广州市医疗机构空间分布特征及服务能力分析 [J]. 医学与社会, 2020, 33 (2): 1-5.
- 19 刘恒. 基于 GIS 的贵阳市主城区医疗资源空间格局研究 [J]. 绿色科技, 2021, 23 (14): 243-246.
- 20 许昕, 赵媛. 基于 GIS 技术的镇江市中心城区医疗机构空间分布研究 [J]. 南京师范大学学报(工程技术版), 2015, 15 (4): 58-65.
- 21 徐丰, 张琦, 牛继强, 等. 基于可达性的郑州市医疗资源空间均等化研究 [J]. 地域研究与开发, 2021, 40 (5): 37-43.
- 22 刘钊, 郭苏强, 金慧华, 等. 基于 GIS 的两步移动搜寻法在北京市就医空间可达性评价中的应用 [J]. 测绘科学, 2007, 32 (1): 61-63.
- 23 车莲鸿. 基于两步移动搜索法空间可达性模型评价医院布局 [J]. 中华医院管理杂志, 2013, 29 (10): 791-794.
- 24 胡瑞山, 董锁成, 胡浩. 就医空间可达性分析的两步移动搜索法——以江苏省东海县为例 [J]. 地理科学进展, 2012, 31 (12): 1600-1607.
- 25 余珮珩, 陈奕云, 汤坤, 等. 基于年龄结构的综合医院分布的空间公平研究——以武汉市主城区为例 [J]. 地域研究与开发, 2021, 40 (3): 56-62.
- 26 袁君梦, 葛幼松. 养老设施空间分布及可达性研究——以杭州市主城区为例 [J]. 上海城市规划, 2019 (6): 99-105.