

# 湘鄂豫三省城市建成区医疗服务潜能的分布特征及其影响因素<sup>1</sup>

韩宗伟<sup>1, 2</sup>, 林子艺<sup>3</sup>, 冉俊容<sup>1</sup>, 焦胜<sup>※3, 4</sup>, 卢德彬<sup>1, 2</sup>, 胡玥<sup>3</sup>, 龙一  
  瑾<sup>3</sup>

(1.铜仁学院 经济管理学院, 中国贵州 铜仁 554300; 2.铜仁学院 山地国土空间智能监测与政策仿真工程中心, 中国贵州 铜仁 554300; 3.湖南大学 建筑与规划学院, 中国湖南 长沙 410082; 4.湖南大学 丘陵地区城乡人居环境科学湖南省重点实验室, 中国湖南 长沙 410082)

**【摘要】**: 以华中地区湖南、湖北、河南为研究对象, 综合运用随机森林回归、空间回归等系列定量模型对医疗服务潜能分布特征及影响因素进行系统分析。研究发现: 研究区医疗服务供给多集中于相对发达的城市中心区而周围区域医疗服务发展滞后, 就医交通时间成本呈“中心—边缘”梯度分布; 医疗服务潜能相对集中且呈现出围绕省会中心城市的环状分布, 各类型医疗服务发展越成熟的区域周围医疗服务发展成熟度较低, 医疗机构外向功能量多分布于省会城市、交通节点型城市、省际门户区域; 对医疗服务能力影响程度由大到小的因素依次为常住人口、就医交通时间成本、建设用地布局复杂程度、城市建成区与最近邻医疗机构距离, 其中就医交通时间成本为负向影响, 其余为正向影响; 规模较大的城市中, 医疗服务领域的集聚效应更加明显, 即配给的医疗资源数量更多、密度更大、间距更小, 各医疗机构利用效率会更高且承载的服务量会上升。

**【关键词】**: 医疗服务; 就医交通; 医疗机构; 时间成本; 网格化; 公平供给; 健康中国

**【中图分类号】**: F207      **【文献标志码】**: A      **【文章编号】**: 1000-8462(2023)10-0087-12

DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2023.10.009

良好的健康与福祉 (Good Health and Wellbeing) 是联合国可持续发展目标 (Sustainable Development Goals) 之一, 旨在消除医疗卫生服务的区域不平衡性以促进人人能够享受到健康公平的权利[1]。新冠疫情暴露出医疗卫生服务体系发展不平衡不充分的问题依旧很严峻, 为增强各地区对危害程度不断升级、爆发频率愈发密集、涉及范围更加广泛的公共卫生危机的处置能力, 医疗资源的供需鸿沟亟需被弥合[2]。然而, 伴随着全球化的不断深入, 快速的人口迁徙、紧密的区域联系、便捷的交通往来等促使公共卫生风险的全球化特征越来越明显[3], 加之人口老龄化、区域间经济发展水平存在差异等因素的影响, 保障医疗卫生服务的可获取性迎来了巨大的挑战, 即如何通过科学配置有限的医疗资源来提升区域内医疗卫生服务能力, 以此达到最大限度满足不同空间位置上差异化医疗卫生服务需求的目的, 并促进区域内形成公平可及、系统连续的健康服务格局[4,5]。

<sup>1</sup> 收稿时间: 2023-03-26; 修回时间: 2023-08-31

**基金项目**: 贵州省教育厅高校工程中心 (黔教技 [2023] 045 号); 铜仁学院博士科研启动基金项目 (trxyDH2303); 湖南省自然资源厅 2022 年重大科技研究项目 [ (2022) 1 号]

**作者简介**: 韩宗伟 (1987—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为安全韧性城市规划。E-mail: hansarm@foxmail.com

**※通讯作者**: 焦胜 (1973—), 男, 博士, 教授, 研究方向为生态城市规划、城乡人居环境可持续发展及绿色建筑。E-mail: jiaosheng2008@163.com

在健康中国战略指引下，促进健康公平性受到广泛关注，为实现缩小地区之间医疗卫生服务能力差距的目标，首要任务是清晰认识医疗卫生服务能力特征，并揭示其中的影响因素。医疗卫生服务能力差异调控策略的相关研究中，不同学科背景的学者们运用调查访谈、数理统计分析、地理空间分析、情景模拟等定性或定量的方法，从健康服务公平性[6]、医疗服务体系功能衔接性[7]、医疗设施空间可达性[8,9]、医疗资源配置均衡性[10,11]等方面开展了系统深入的探索，医疗资源配置及其能力发挥效能与城镇交通网络结构存在较强的空间耦合互动关系[12,13]。这些研究主要关注医疗卫生服务总量的空间差异特征，将复杂的动态流动性特征转化为静态的可以被测度的时间或距离变量，多采用医疗卫生服务范围[14,15]、获得医疗服务的时间或距离成本[16,17,18]等指标表征省域医疗卫生服务能力差异，关注行政区域医疗卫生服务供需差异现象描述的研究成果丰硕。

在评估市域、县域等大空间单元上特定区域医疗服务能力差异现状的基础上，揭示并利用人口分布、人口学变量（如性别、年龄）、医疗机构间互动程度（如技术人才的培训交流、患者转诊）等因素对医疗服务能力差异的作用机制，从选址、规模、结构等视角提出完善医疗资源可及性[19]、平衡医疗卫生服务的供需关系[20]、提高医疗设施利用率[21]的策略，已成为缩小区域间医疗卫生服务能力差距的重要研究范式[22,23]。多分布于发达地区且等级越高的医疗机构获得各项利益的机会越多，如财政投入更多、占地面积更大、设备更高端、医生工资更高等。医疗卫生服务的空间静态化、金字塔化、阶层分化，造成各类要素向高等级医疗机构流动和汇聚的现象，以及患者流动而医护人员和医疗服务相对固定的现象，激发了高等级医院追求规模扩张的意愿[24]，使医疗资源等级分化的问题和患者获得医疗服务的通勤成本高等问题依旧突出。在重视医疗卫生服务规模增量的现实发展需求下，城市建成区因部分优质医疗资源的负担过重而陷入不断在其周围增补优质医疗资源的循环中，医疗资源布局的结构调整 and 就医需求空间差异的适应性还存在不足，使得区域内医疗资源总量基本达标，而区域之间的资源配置不均衡，最终导致区域之间医疗卫生服务能力发展不平衡不充分的问题[25]，但目前从空间视角揭示大范围城市建成区医疗服务能力差异及其影响因素的研究还比较欠缺。

综上，传统研究中较少考虑大范围城市建成区医疗服务能力空间差异的内部精细化特征及形成机制空间效应，影响了医疗卫生服务均衡性和公平性提升策略的科学性和精准性[26]，亟需对城市建成区医疗卫生服务能力差异的复杂空间特征及影响因素展开系统深入的研究。为此，本研究以华中地区湖南、湖北、河南三省为研究区，依托研究区域内交通网络结构、人口分布数据、医疗资源布局数据等，分析现有医疗服务能力差异的分布格局特征，进而围绕医疗服务提供方、需求方、支持方，系统挖掘建成环境对保障医疗卫生服务能力的影响机制，以期为落实健康中国战略中建立公平的医疗卫生服务体系提供决策参考。

## 1 研究区概况、数据来源与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于中国七大地理分区之一的华中地区，由河南、湖北、湖南三省（45个市、州）组成，是中部崛起战略惠及的重要区域。研究区国土总面积  $56.47 \times 10^4 \text{km}^2$ ，地形占比由大到小依次为山地、丘陵、盆地、平原，气候环境为温带季风气候和亚热带季风气候。研究区内拥有众多能够通达全国的交通干线，使该区域具有承东启西、连接南北的独特区位优势 and 交通枢纽作用。三省人口和2019年城市建设、医疗、交通情况见表1，数据分别来源于第七次全国人口普查公报（第三号）1和国家统计局公布的城市建设、医疗、交通数据2。

表 1 湘、鄂、豫三省第七次普查人口和 2019 年城市建设、医疗、交通情况

| 指标             | 单位              | 河南       |      | 湖北       |      | 湖南       |      | 总和或均值*    |
|----------------|-----------------|----------|------|----------|------|----------|------|-----------|
|                |                 | 数量       | 全国位次 | 数量       | 全国位次 | 数量       | 全国位次 |           |
| 第七次全国普查人口      | 人               | 99365519 | 2    | 57752557 | 9    | 66444864 | 6    | 223562940 |
| GDP            | 亿元              | 53717.8  | 5    | 45429.0  | 8    | 39894.1  | 9    | 139040.9  |
| 建成区面积          | km <sup>2</sup> | 2944     | 6    | 2661     | 8    | 1856     | 11   | 7461      |
| 医疗卫生机构数        | 个               | 70735    | 4    | 35479    | 9    | 57232    | 5    | 163446    |
| 卫生机构床位数        | 万张              | 64.00    | 1    | 40.65    | 8    | 50.63    | 6    | 155.28    |
| 每万人医疗机构床位数     | 张               | 66.41    | 16   | 68.04    | 17   | 73.19    | 18   | 69.21*    |
| 每万人拥有执业(助理)医师数 | 人               | 26       | 20   | 26       | 20   | 28       | 15   | 26*       |
| 医院数            | 个               | 1974     | 4    | 1034     | 16   | 1616     | 7    | 4624      |
| 医院病床使用率        | %               | 88.10    | 6    | 92.30    | 2    | 83.70    | 11   | 88.03*    |
| 入院人数           | 万人              | 2021.72  | 1    | 1368.76  | 7    | 1616.18  | 5    | 5006.66   |
| 高速等级公路里程       | km              | 7000     | 5    | 6900     | 6    | 6800     | 7    | 20700     |
| 铁路营业里程         | km              | 6500     | 7    | 5200     | 12   | 5600     | 9    | 17300     |
| 客运量            | 万人              | 109297   | 3    | 87432    | 8    | 101428   | 5    | 298157    |
| 货运量            | 万t              | 219024   | 7    | 188133   | 11   | 189740   | 9    | 596897    |

注：“\*”表示相应数据为均值。

研究区的人口总量、经济体量、医疗资源规模、交通运输能力均处于全国前列，为洞悉医疗卫生服务能力空间格局的合理性提供了丰富的数据样本。医疗资源的人均水平相对较低而医疗资源的利用程度较高，说明现有医疗卫生资源的服务潜能较大，为研究区内医疗卫生服务能力的提升奠定了基础。

## 1.2 数据来源

基于本文研究需要以及综合考虑数据的权威性、可获取性、时效性，选取了 2015 年交通线路（铁路、高速公路）数据、2019 年行政界线数据、2015 年居民点数据，数据均来源于国家基础地理信息中心（www.webmap.cn）公众版 1:25 万矢量地图数据。2018 年人口的公里网格数是作者前期研究积累的数据[27]。表征人口活动区域的 2020 年建设用地数据（分辨率 1 km）来源于资源环境科学与数据中心（www.resdc.cn），包含城乡、工矿、居民用地三类用地。湘、鄂、豫三省及各市（州）的医疗机构诊疗人数、医护人员数、医疗机构数、医疗机构总资产来源于 2019 年《中国卫生统计年鉴》和各省的城市统计年鉴，该数据集为验证数据集。湘、鄂、豫三省医疗机构数据集是以《中国卫生统计年鉴》中医疗机构类型为关键词，通过查询天眼查网站（www.tianyancha.com），剔除重复、不相关、经营状态为关闭（即注销、吊销、停业、撤销、迁出）等机构数据得到涵盖参保人数、注册资产信息的医院、专业医疗机构、基层医疗机构、其他医疗机构四类数据共计 43838 条，三省医疗机构有注册资金信息的占比 71.74%，无注册资金信息的被赋予同类机构注册资金的均值，所有注册资金转换为以 2019 年为基准的不变价格，三省的医疗机构数占各自 2019 年医疗卫生统计年鉴中医疗机构总数比例的平均值为 29.18%，利用百度 API(<http://lbsyun.baidu.com/>)地理编码获得所有医疗机构注册地址的空间坐标（即医疗机构 POI）。从该数据集中随机抽取医疗机构，并通过各医疗机构官网查询获得相应的诊疗人次，有诊疗人次的 180 个医疗机构作为训练数据集，无诊疗人次的医疗机构作为预测数据集。以 2019 年行政边界数据为基准，对不同年份的地理数据进行坐标系转换与空间校准，使之能够在空间上匹配，便于后续分析。

## 1.3 研究方法

### 1.3.1 医疗服务空间化方法

医疗服务空间化过程中各模型和指标的计算公式见表 2。基于湘、鄂、豫三省医疗机构训练数据集（其中诊疗人数为被解释变量，医疗机构职工人数、医疗机构类型、医疗机构等级、医疗机构注册资产为解释变量）训练多元线性回归模型，以及具有较强数据集适应能力和抗噪声能力且能处理高维度数据的随机森林回归模型[35,36]。利用医疗机构官网查询获得的湘、鄂、豫三

省 180 个医疗机构的诊疗人次真实值和模型估测值计算得到的平均绝对误差 (MAE) 和均方根误差 (RMSE) 评价模型的精度, 发现随机森林回归模型的精度较高, 该模型的 MAE(197730.033) 和 RMSE(338013.688) 均小于线性回归模型的 MAE(237491.371) 和 RMSE(370834.190), 模型的拟合优度 R2 为 0.82。因此, 运用训练后的随机森林回归模型, 基于医疗机构职工人数、医疗机构类型、医疗机构等级、医疗机构注册资产, 估测不同类型医疗机构 POI 的诊疗量。利用融合了从医疗机构获得服务的交通时间成本和服务能力衰减系数的改进潜能模型, 将各类型医疗机构的服务空间化[37]。参照已有研究[38,39,40], 综合考虑就医出行方式如高铁、汽车、公共交通 (公交或地铁)、步行等存在多种可能性组合以及各年龄阶层对就医距离的敏感程度, 将从医院、专业医疗机构、基层医疗机构、其他医疗机构获得服务的极限通勤时间分别设定为 60 min、30 min、15 min、10 min。为保证估算得到的医疗服务总量和统计年鉴中的一致, 运用各省统计年鉴中诊疗人次总数与估算得到诊疗人次总数的比值修正各栅格单元的诊疗人次。

### 1.3.2 医疗服务空间混合度模型

表 2 医疗机构诊疗服务空间化研究方法与步骤

| 步骤 | 计算内容公式  |
|----|---|
| ①  | <p>以医疗机构诊疗人次 <math>S</math> 为因变量, 以医疗机构职工人数 <math>X_1</math>、医疗机构类型 <math>X_2</math>、医疗机构等级 <math>X_3</math>、医疗机构总资产 <math>X_4</math> 为解释变量训练多元线性回归, <math>\varepsilon</math>、<math>a</math>、<math>b</math>、<math>c</math>、<math>d</math> 为线性回归模型待估测系数。利用 Python 语言调用 scikit-learn 库, 采用 bootstrap 有放回的采样方法 (即样本中 2/3 为训练样本, 1/3 作为袋外样本验证模型精度) 训练随机森林回归模型, 以确定子树最大深度 和子树数量两个重要参数 [28]</p> $S = \varepsilon + aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_4 \quad (1)$   |
| ②  | <p>基于医疗机构 <math>i'</math> 的诊疗人次估测值 <math>P_{i'}</math> 和真实值 <math>O_{i'}</math>, 通过计算平均绝对误差 MAE 和均方根误差 RMSE 检验模型精度 [29], <math>n'</math> 为用于验证的医疗机构个数。应用精度高的模型, 估测各类型医疗机构 POI 第 <math>k</math> 个的诊疗量 <math>S_k</math></p> $MAE = \sum_{i'=1}^{n'}  P_{i'} - O_{i'}  \quad (2)$ $RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i'=1}^{n'} (P_{i'} - O_{i'})^2}{n}} \quad (3)$   |
| ③  | <p>在 ArcGIS 10.6 中以居民点和医疗机构分别为出发地和目的地, 结合道路网络利用网络分析 工具计算栅格单元 <math>j</math> 获得第 <math>k</math> 个 <math>i</math> 类医疗机构服务所花费的时间 <math>T_{jk}</math>, 其中路网系统中铁路、高速公路、轨道交通、主干道、干道、次干道、其他道路及以下的通行速度分别为 180 km/h、100 km/h、80 km/h、60 km/h、40 km/h、30 km/h、20 km/h, 主要依据已有研究综合得出 [30-32], 不考虑不同交通方式之间换乘时间</p> <p style="text-align: right;">无</p>  |
| ④  | <p>依据总数 <math>m'</math> 个的 <math>i</math> 类第 <math>k</math> 个医疗机构的服务潜能 <math>S_{ik}</math>, <math>i</math> 类第 <math>k</math> 个医疗机构在单元 <math>j</math> 的服务衰减系数 <math>R_{ijk}</math> 和人口规模影响因子 <math>V_{ik}</math>, 栅格单元 <math>j</math> 到第 <math>k</math> 个 <math>i</math> 类医疗的交通路网出行时间 <math>t_{jk}</math>, 从第</p> $S_{ij} = \sum_{k=1}^{m'} \frac{S_{ik} R_{ijk}}{V_{ik}^\beta} \quad (4)$ <p>第 <math>k</math> 个 <math>i</math> 类医疗机构获取服务的极限通勤时间 <math>T_{ki}</math>, 阻抗系数 <math>\beta</math>, 通常取值为 2 [33], 网络单元 <math>j</math> 的人口数 <math>P_j</math>, 计算栅格单元 <math>j</math> 上的 <math>i</math> 类机构提供的服务潜能 <math>S_{ij}'</math> [34], 其中 <math>t_{jk} \geq T_{ki}</math> 时, 就医通勤时间</p> $V_{ik} = \sum_{j=1}^n \frac{R_{ijk} P_j}{t_{ijk}^\beta} \quad (5)$ $R_{ijk} = 1 - \left( \frac{t_{jk}}{T_{ki}} \right)^\beta \quad (6)$ <p>超过极限通勤时间, 单元 <math>j</math> 的人口不选择第 <math>k</math> 个 <math>i</math> 类医疗机构就医</p> |
| ⑤  | <p>修正栅格单元 <math>j</math> 上 <math>i</math> 类机构提供的服务潜能 <math>S_{ij}'</math>, <math>S_{ij}</math> 为修正后的值, 修正系数为 <math>\gamma</math>, <math>n'</math> 为各省域内栅格单元总数, <math>m'</math> 为省域医疗服务类型数</p> $S_{ij} = S_{ij}' \gamma \quad (7)$ $\gamma = \frac{O_j'}{P_j'} \quad (8)$ $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n S_{ij}'$  |

医疗服务的合理分配和医疗资源的适度混合是解决医疗公平和效率问题的重要方法[41]。现有研究中往往运用混合度指标测

度某地区特定单元内多类型功能要素混合利用程度的空间特征，如土地利用混合度[42]、功能区混合度[43]，可作为重要影响因素用于探索公共健康水平。因此采用混合度衡量各研究单元内各类型医疗服务的均匀性，取值范围为 0~1，数值越大表示医疗服务的混合程度越高，即医疗服务的均衡性越好，计算公式如下[44]。

$$M_j = -\frac{\sum_{i=1}^{k_j} (p_{ij} \cdot \ln p_{ij})}{\ln k_j} \quad (9)$$

式中： $M_j$  表示 j 单元的医疗服务混合度； $k_j$  表示 j 单元内医疗服务类型的数量； $p_{ij}$  表示在单元 j 中 i 类型医疗机构服务量总和占所有医疗机构服务量总和的比例。

### 1.3.3 医疗服务外向功能量模型

医疗资源提供的服务具有公益性特征，该特征决定医疗资源不仅服务于其所在城市的当地群众，同时也服务于其所在城市之外的群众，即医疗服务中具有外向功能量。经济学和地理学中常用区位商来衡量一个区域内特定产业的重要程度以及与外部输入与输出的关系。医疗服务区位商值的大小通常代表各类医疗卫生机构所提供服务的比较优势和聚集度，是分析各类型医疗服务集聚度和识别有比较优势医疗服务的重要指标。但区位商大于 1 时只能表示该医疗机构存在对外服务能力，不能直接反映医疗机构对外服务能力的高低，因此需要在区位商的基础上计算外向功能量来衡量医疗机构的对外服务能力。考虑指标的可获取性和代表性，采用计算得到的医疗机构诊疗人数表征医疗服务功能量，医疗卫生服务的区位商和医疗卫生服务的外向功能量计算公式如下：

$$Q_{ij} = \frac{S_{ij}/S_j}{Z_i/Z} \quad (10)$$

$$E_{ij} = S_{ij} - S_j \frac{Z_i}{Z} = S_{ij} \left(1 - \frac{1}{Q_{ij}}\right) \quad (11)$$

$$E_j = \sum_{i=1}^m E_{ij} \quad (12)$$

式中： $S_{ij}$  为 j 单元 i 类医疗机构服务潜能； $Z_i$  为研究区 i 类医疗机构服务潜能总和； $S_j$  为 j 单元所有类型医疗机构服务潜能总和； $Z$  为研究区内所有类型医疗服务潜能总和； $E_{ij}$  为 j 单元 i 类医疗机构服务的外向功能，表示医疗服务功能超出研究区平均水平的部分； $E_j$  为 j 单元 m 类医疗机构服务的外向功能总和，该值占所有类型医疗服务潜能总量的比例越少，说明 j 单元内各类型医疗服务发展的总体质量较好； $Q_{ij}$  为 j 单元（分为县级、省级、区域级三个尺度）i 类医疗机构服务的区位商指数。当  $Q_{ij} > 1$  时则 j 单元 i 类医疗机构服务功能存在外向功能，因为 j 单元 i 类医疗服务功能相对于 j 单元总体医疗服务功能的比例超过了其他类型医疗机构服务功能的比例，可以为 j 单元的外部区域提供服务，当  $Q_{ij} \geq 1.5$  时则表明 i 类医疗机构服务功能在单元 j 内较成熟且优势度高，当  $1 < Q_{ij} < 1.5$  时则 i 类医疗机构服务功能优势度在单元 j 内高于平均水平且优势度较高；当  $Q_{ij} = 1$  时则 i 类医疗机构服务功能优势度在单元 j 内处于均势，优势不明显；当  $Q_{ij} < 1$  时则 i 类医疗机构服务功能优势度在单元 j 内低于平均水平，外

向医疗服务功能微弱，不存在优势度。

### 1.3.4 医疗服务空间回归模型

医疗服务潜能的空间分布是城镇复杂系统中多重因素共同作用的结果，厘清医疗服务供需关系空间影响因素对医疗服务潜能的作用规律，是从国土空间视角规划调控并充分利用医疗服务潜能的关键环节。运用地理统计学中常用的普通最小二乘（OLS）线性回归方法，针对医疗服务供需全过程中提供服务的医疗资源布局、服务需求侧的人口分布、获取服务的便捷性、承载服务全要素的建设用地布局四类影响因素与县域医疗服务潜能的空间关系展开分析。构建的空间回归模型中，被解释变量为各区县的医疗服务潜能（即各类型医疗机构的诊疗量总和，Service Proficiency，简称为 Sp）；解释变量为表征各区县医疗资源布局的最近邻医疗机构距离（即各区县所有建成区网格单元与最近邻医疗机构之间距离的平均值，Average Distance，简称为 Ad），表征各区县人口分布的常住人口总量（Population，简称为 Po），表征各区县获取医疗服务便捷性的就医平均交通时间成本（即各区县所有建成区网格单元获得所有类型医疗服务所需时间的平均值，Average Time，简称为 At），表征各区县建设用地布局复杂程度的分形维数（即各区县建成区边界形状的复杂程度，值越大建设用地布局越复杂且城镇发展水平越成熟，Fractal Dimension，简称为 Fd）。其中 Ad 和 At 为负向指标，其余为正向指标，为消除上述所有指标数量级和量纲的影响，正向指标和负向指标均按照极差标准化方法进行归一化处理，前者按照指标值和其最小值之差与指标值范围大小的比值标准化，后者按照指标最大值和指标值之差与指标值范围大小的比值标准化。其中，城市建成区网格单元的就医交通时间成本利用地理学中运用广泛的最小抗阻可达性模型获得：

$$T_j = \frac{1}{m'' m' - 1} \sum_{i=1}^{m''} \sum_{k=1}^{m'} T_{ijk} \quad (13)$$

式中：T<sub>j</sub> 为格网单元 j 获得医疗机构获取服务的平均时间；T<sub>ijk</sub> 为格网单元 j 获得第 k 个 i 类医疗机构服务所花费的时间。

## 2 结果分析

### 2.1 医疗服务总体分布格局

#### 2.1.1 就医交通时间成本

在基层医疗机构、医院、其他医疗机构、专业医疗机构提供的医疗服务所对应的极限就医通勤时间约束下，2019 年湘鄂豫城市建成区网格单元上获取各类型医疗机构服务的平均交通时间分布如图 1 所示，图中的类型等级按照等分法划分以充分展现时间上的梯度分布。湘、鄂、豫三省的城市建成区范围内，获取基层医疗机构、医院、其他医疗机构、专业医疗机构服务所耗费的交通时间成本，均呈现出明显的“中心—边缘”梯度分布特征，城市中心区就医时间成本低而边缘区相对较高，城市建成区核心区域或交通节点区域获取医疗服务的交通时间成本低于其他区域的，这与城市空间先发展中心区再发展边缘区的扩张规律基本一致。各市（州）辖区内医疗服务的便捷性存在明显的异质性，获取医疗服务的交通时间成本较低区域呈现的空间结构及其空间布局特征，与现有城镇体系发展的空间结构吻合度较高，均呈现“1 个主中心+N 个次中心”的模式。从基层医疗机构、医院、其他医疗机构、专业医疗机构获取服务的极限交通时间成本内，研究区域城市建成区内能够获得所有类型医疗服务的区域范围并不是全部区域，仅占城市建成区全部面积的 20.04%，部分区域无法在有限时间内获得相应类型的医疗服务，特别是城镇建设的边缘区域，以及城镇之间的衔接过渡地带，而无任何类型医疗服务覆盖的区域面积占研究区内城市建成区总面积的比例为 1.88%。

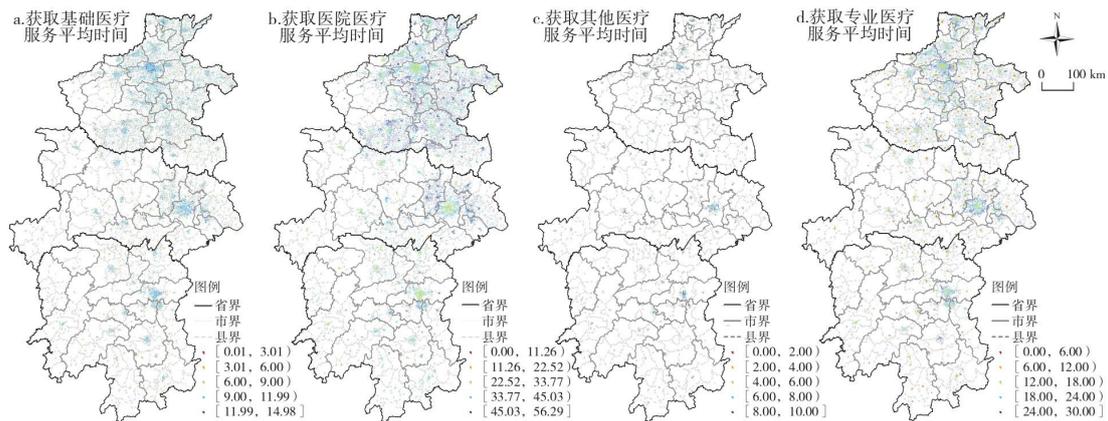


图 1 2019 年湘鄂豫建成区获取各类型医疗机构服务的平均交通时间分布

注：图中时间均按分钟计。

### 2.1.2 医疗服务潜能分布

运用训练后的精度较高的随机森林回归模型测算 2019 年各类型医疗机构提供的潜在诊疗量，即医疗服务潜能，并进一步得到其空间分布（图 2），其中市域和县域的五级分类图是经自然断点分类法获得，以体现各级别之间的最大差异。

研究区域内医疗服务潜在在空间上相对集中，主要呈现出围绕省会中心城市的环状分布。省域层面（图 2a），研究区医疗服务潜能量由大到小依次为河南省、湖北省、湖南省；市域层面（图 2b），市域医疗服务潜能排名前 5 的市域由大到小依次为武汉市、郑州市、长沙市、驻马店市、新乡市；县域层面（图 2c），医疗服务潜能排名前 10 的区县由大到小依次为内黄县、延津县、老河口市、金水区、确山县、雨花区、华龙区、望城区、江夏区、蔡甸区。

### 2.2 医疗服务空间混合度分布

湘鄂豫三省各类型医疗服务的空间混合程度在省域、市域、县域 3 种空间尺度下的分布如图 3 所示，其中市域和县域的按照自然断点分级法得到 5 个等级的分布，以体现各个类别之间的最大差异。医疗服务的混合程度由高到低依次为湖北省、湖南省、河南省，说明研究区域内湖北省的医疗服务均衡性优于湖南省和河南省；医疗服务发展越成熟，各类型医疗服务的空间混合程度越高，而周围的区域医疗服务的混合程度较低。

### 2.3 医疗服务外向功能量分布

在省域、市域、县域不同空间尺度下，湘鄂豫三省医疗服务外向功能量总和，以及医疗服务外向功能量占对应区域医疗服务潜能量比例的分布如图 4 所示。其中，市域和县域的按照自然断点分级法得到 5 个等级的分布，以体现各个等级之间的最大差异。通过定量对比各级行政区的医疗服务外向功能量，发现研究区域内医疗机构对其所在辖区以外区域提供服务的潜能集中于省会城市和交通节点型城市或省际门户区域，如湘、鄂、豫三省的省会，即长沙市、武汉市、郑州市，以及河南省南部的南阳市、驻马店市、信阳市和湖北省东部的黄冈市。这些区域的医疗服务水平相对于其周边区域发展得更好，可作为相应空间尺度下驱动医疗服务区域合作，以及输出医疗服务技术和人才的关键区域。由各级行政区医疗服务外向功能量占对应区域医疗服务潜能量的比例可知，各类型医疗服务发展总体质量较差的区域多位于远离省会城市、发展相对滞后的边界区域，例如欠佳程度由大到小的前 10 个辖区分别为漯河市、信阳市、神龙架林区、咸宁市、十堰市、湘西州、永州市、黄冈市、郴州市、益阳市。

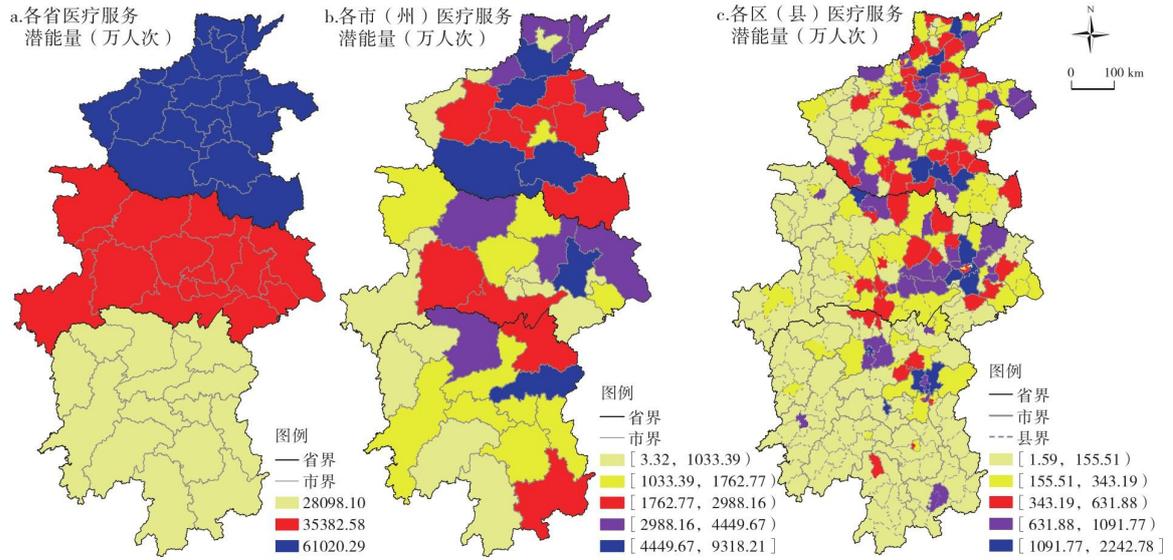


图 2 2019 年湘鄂豫三省各空间尺度下医疗服务潜能分布

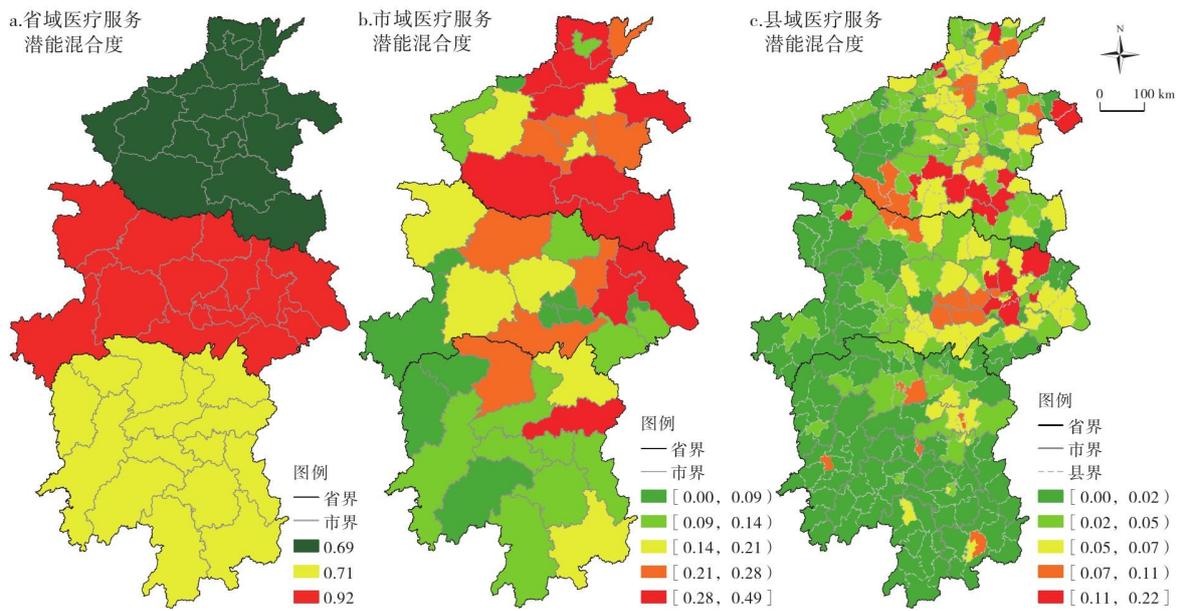


图 3 2019 年湘鄂豫医疗服务潜能的混合度分布

## 2.4 医疗服务差异的影响因素

### 2.4.1 研究区医疗服务潜能的总体影响因素

医疗服务潜能空间回归模型为  $S_p = 0.06 + 0.34P_o - 0.32A_t + 0.15F_d + 0.14A_d$ , 该模型决定性系数为 21.40%, 即该模型能够解释医

疗服务潜能 21.40%的变化，模型中相关系数及各自统计特征见表 3。

由 T 统计量和 P 值两项指标可知，回归模型在 0.01 水平上显著，稳健性检验结果表明所有解释变量均不存在多重共线性，即都不是冗余变量。选取的解释变量中，与被解释变量医疗服务潜能关系紧密程度由大到小依次为常住人口、就医交通时间成本、建设用地布局复杂程度、城市建成区与最近邻医疗机构距离，其中第二个指标为负相关关系，其余 3 个指标均为正相关关系。回归模型中蕴含了医疗服务潜能与常住人口总量、就医交通时间成本、建设用地布局复杂程度、与近邻医疗机构平均距离之间互动机制，总体规律如下：人口基数越大则产生的医疗服务需求越高，说明人口数量对医疗服务潜能的发挥有正向激励作用；在极限就医时间范围内，获取医疗服务所耗费的通勤时间成本越高，即医疗服务的便捷性越低则会更加抑制医疗服务潜能的发挥；城镇建设用地布局越复杂，即建成区的发展水平越成熟，医疗服务潜能值越大；医疗资源布局与建成环境分布之间的空间邻近距离越近，则在一定程度上会抑制医疗服务潜能的发挥。

#### 2.4.2 各规模城市医疗服务潜能的影响因素

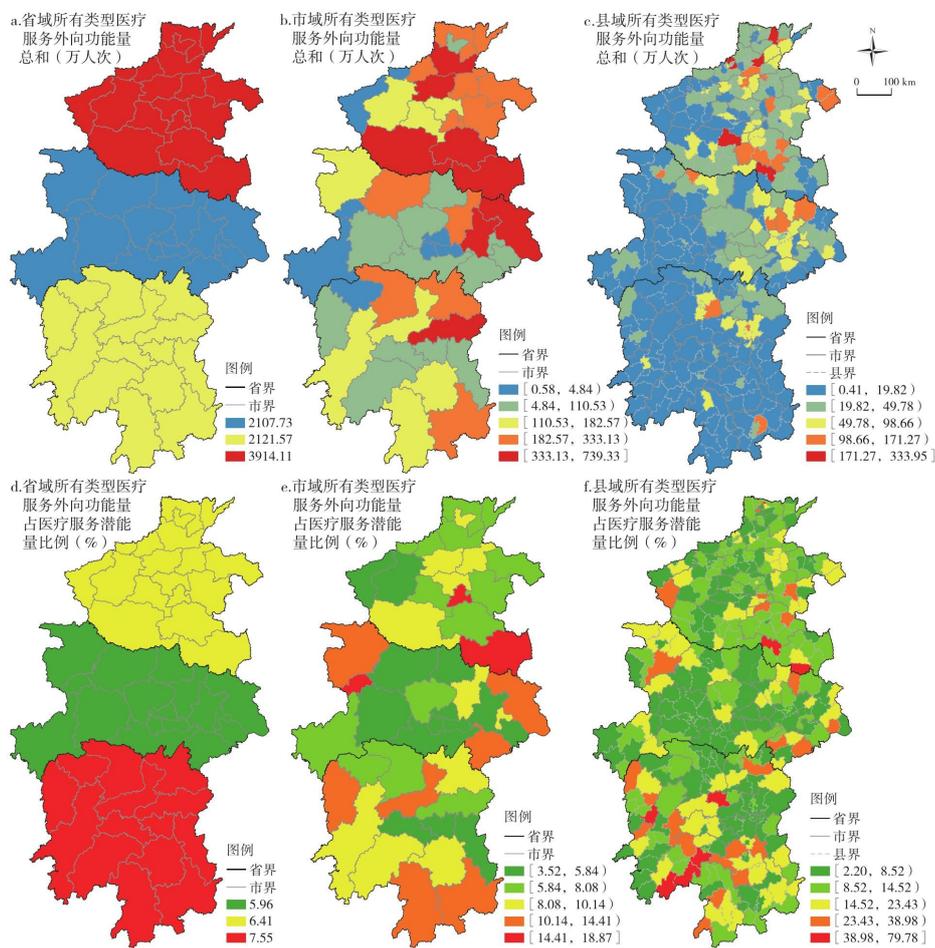


图 4 2019 年湘鄂豫医疗服务的外向功能量及其比例的空间分布

表 3 医疗服务潜能总量的 OLS 回归模型结果概况

| 区域类型 | 医疗机构数<br>(个) | 建成区医疗资源的<br>密度 (个/km <sup>2</sup> ) | 所有医疗机构平均<br>间距 (m) | 就医交通时间成本<br>(min) | 人均诊疗次数<br>(次) | 所有医疗机构承载<br>的服务人次均值 |
|------|--------------|-------------------------------------|--------------------|-------------------|---------------|---------------------|
| 大城市  | 215.69       | 0.55                                | 11714.58           | 23.47             | 4.91          | 39772.71            |
| 中等城市 | 129.86       | 0.49                                | 12687.11           | 23.18             | 5.37          | 40095.49            |
| 小城市  | 78.40        | 0.46                                | 12426.86           | 18.97             | 6.33          | 27561.19            |
| 全域   | 114.46       | 0.48                                | 12502.72           | 21.41             | 5.74          | 34736.61            |

注：\*\*\*、\*\*、\*分别表示在 1%、5%、10%置信水平上显著。

研究区全局范围内，不同规模城市医疗资源空间布局与表征医疗服务潜能的各指标在统计学上的关联特征如图 5 所示，其中大城市、中等城市、小城市三类城市规模按照《关于调整城市规模划分标准的通知》（国发[2014]51 号）划分。医疗机构数的增多和城市建成区医疗资源密度的增加，均会对提升获取医疗服务的便捷性产生积极影响（即减少就医通勤时间和增加人均诊疗次数），同时也会降低医疗机构的利用效率（即各医疗机构平均服务人次会下降）。所有医疗机构平均间距的增加所发挥的作用规律则相反，会降低医疗服务的便捷性（即就医交通时间成本会增加而人均诊疗次数会有所下降），同时会对各医疗机构利用效率的提升产生积极影响（即各医疗机构平均服务人次有所上升）。

利用不同城市规模下医疗资源布局与医疗服务潜能相关指标的均值进行对比分析，以期探索出医疗资源布局与医疗服务潜能之间更加精细化的关联规律，医疗资源空间布局与医疗服务潜能相关表征指标均值之间的相互对应关系见表 4。大城市和中型城市各医疗机构承载的服务量均值相对于小城市的分别增加 44.31%、45.48%；人们在获取医疗服务时的交通时间成本会更大，大城市和中型城市获取医疗服务的交通时间成本均值相对于小城市的分别增加 23.71%、22.18%；人均诊疗的次数会降低，大城市和中型城市人均诊疗的次数均值相对于小城市的分别减少 22.39%、15.16%。由大城市和中等城市相关指标的对比发现，大城市医疗资源数量均值相比于中等城市的增加 66.09%，大城市就医交通时间成本均值相比于中等城市的仅增加 1.25%，大城市各医疗机构承载的服务人次均值相比于中等城市的反而降低 0.81%。

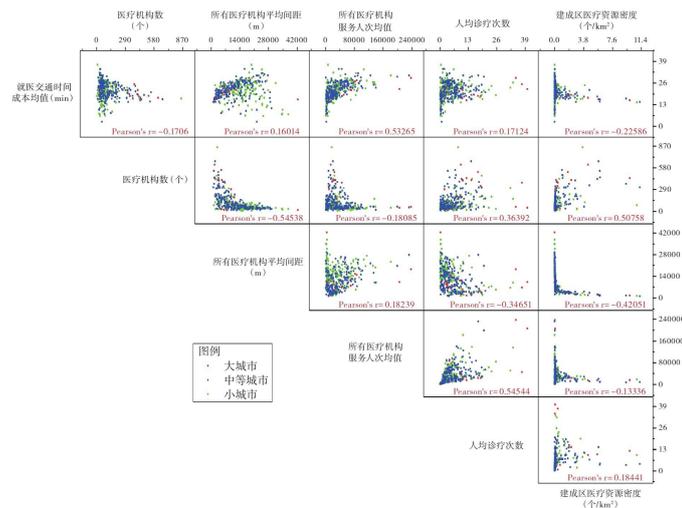


图 5 医疗资源空间布局与医疗服务潜能的关系矩阵图

表 4 医疗资源空间布局与医疗服务潜能相关表征指标均值

| 区域类型 | 医疗机构数<br>(个) | 建成区医疗资源<br>的密度 (个/km <sup>2</sup> ) | 所有医疗机构平均<br>间距 (m) | 就医交通时间成本<br>(min) | 人均诊疗次数<br>(次) | 所有医疗机构承载<br>的服务人次均值 |
|------|--------------|-------------------------------------|--------------------|-------------------|---------------|---------------------|
| 大城市  | 215.69       | 0.55                                | 11714.58           | 23.47             | 4.91          | 39772.71            |
| 中等城市 | 129.86       | 0.49                                | 12687.11           | 23.18             | 5.37          | 40095.49            |
| 小城市  | 78.40        | 0.46                                | 12426.86           | 18.97             | 6.33          | 27561.19            |
| 全域   | 114.46       | 0.48                                | 12502.72           | 21.41             | 5.74          | 34736.61            |

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

本文综合运用随机森林回归、空间回归等系列定量模型，对医疗服务潜能分布特征及影响因素进行了系统分析，主要结论如下：

第一，研究区域内医疗卫生服务的发展与城市建设的进程存在空间关联性。虽然不同城市的发展结构存在差异，但获取医疗服务所耗费的交通时间成本低的区域都集中在城市中心区和交通枢纽节点，获取医疗服务的交通时间成本从城市中心区至城市外围呈逐渐增加的趋势，城市建成区内存在极限就医交通时间成本内无任何类型医疗服务覆盖的区域。此外，医疗服务潜能的分布在空间上呈现以省会城市为中心向外围城市跳跃式变迁并逐渐缩小的趋势，远离省会城市的边缘城市医疗卫生服务潜能往往较小，并且这类区域往往集中连片出现。

第二，医疗卫生服务混合度体现了不同区域医疗卫生服务发展多样性，不同空间尺度上三省医疗卫生服务混合度的宏观分布趋势一致，呈现出中部省份湖北省医疗卫生服务混合度高，而两边省份湖南省和河南省医疗卫生服务混合度低的趋势，说明研究区域内湖北省的医疗资源发挥了更加均衡的服务功能。

第三，医疗服务外向功能量在不同空间尺度上均呈现出东部或北部较高，而西部或南部较低分布趋势，充沛的医疗卫生服务供给多集中于相对发达的区域，而周围区域的医疗卫生服务发展水平滞后。外向功能量占医疗服务潜能比例的空间分布在不同空间尺度上均呈现出中部低外围高的趋势，比例高的区域表明了该区域内的医疗卫生服务发展的均衡性相比于周围区域存在一定的滞后性。

第四，常住人口、就医交通时间成本、建设用地布局复杂程度、城市建成区与最近邻医疗机构距离均能影响医疗服务潜能，其中常住人口总量与就医交通时间成本对医疗服务潜能的影响占主导地位，就医交通时间成本与服务潜能呈显著负相关，常住人口、建设用地布局复杂程度、城市建成区与最近邻医疗机构距离与服务潜能呈显著正相关。此外，不同城市规模下，规模较大的城市内医疗卫生服务领域的集聚效应更加明显，获取医疗卫生服务所付出的交通时间成本更大；医疗机构数与医疗资源密度的提升对降低就医时间成本有积极作用，而医疗机构的平均间距增加则会增加就医时间成本。

#### 3.2 讨论

医疗服务与民生密切相关且在城镇发展中已成为不可或缺的内容，医疗资源布局是否合理对于改善区域医疗服务均衡水平并促进各地区医疗服务协同发展意义重大。本研究通过对城市建成区医疗卫生服务潜能空间分布特征及其影响因素的探析，发现医疗资源布局形成的局部优势和固有结构影响着区域医疗服务潜能的空间异质性，即各医疗资源的潜在服务功能被利用的强度，以及各医疗资源承担的服务压力等供需关系方面存在差异。研究结果显示，相对发达的区域其医疗服务潜能往往比周围地区更大，中心城区的医疗服务潜能大于边缘地区。这在一定程度上说明了城市建设的历程对医疗服务的分布有重要影响，城市

核心区往往是城市较早建设的地区之一，交通发达，人口分布相对集中，聚集了大量的医疗设施，并且在社会经济发达的区域医疗服务发展的速度更快，具有更强的医疗服务潜能。

现实中医疗资源的空间布局往往会受到诸如人口分布、政策导向、财政投入、用地指标、市场环境、健康风险等多重复杂空间因素或非空间因素的综合影响，使其追求的公平和效率在不断的博弈中寻求平衡。本文的研究结果显示，常住人口总量对医疗服务潜能的影响最显著，这是由于城市常住人口是医疗服务的主要使用群体，常住人口的增多，会导致医疗服务需求量增加，从而影响医疗资源潜在服务功能的利用强度。除此之外，就医交通时间成本也会显著影响医疗服务潜能，就医所耗费的交通时间成本越高，越不利于医疗服务潜能的发挥，这说明在城市建成区内便利和快捷的交通是激发医疗服务潜能的重要因素。但在追求就医的交通时间成本更小和医疗资源利用效率更高的多重目标时，并不是配置的医疗资源越多越好，需要综合权衡医疗服务资源配给的空间公平性问题和后续使用的效率问题，即医疗资源的空间布局需要兼顾公平与效率、供给与需求等多重关系，以更好地发挥各医疗资源的潜能，进而满足多目标要求，让医疗资源为群众提供便捷服务的同时，使相关医疗资源的利用率最大化，又能够促进区域医疗服务潜能的提升。

当前“以人为本”的发展思想越来越被各行各业重视。在“以人民为中心”的理念指引下，为追求更优的医疗服务便捷性和可达性，使医疗服务潜能更好地适配城市当前的发展阶段，区域内医疗服务水平实现均衡可持续发展，一是应遵守依据人口数量分布分级配置医疗机构的基本原则，将医疗机构布局在交通便捷或可达性高的区域，以便于充分发挥其医疗服务功能；二是将医疗服务质量发展滞后的相关区域与其周边具有相对优势的区域联动发展，在空间上形成医疗服务合作联盟，并依据其发展进程适时调节合作区域的大小，形成“以强带弱，分区协同、齐头并进”的发展格局，进而促进医疗资源布局对相关区域医疗服务潜能产生的公平性正向效应和便捷性负向效应之间达到动态平稳状态；三是依托交通体系链接医疗服务形成多中心网络结构，为现实客观发展背景下区域减少获取医疗服务的交通时间成本（即提升医疗服务便捷性），调控医疗服务潜能提供一种实现路径选择和空间策略制定依据。此外，伴随着城镇建成区的快速扩张，医疗服务水平需要适应城镇的发展而被逐步提升，为了更好地发挥已有医疗资源的潜能，需要充分考虑城镇发展现状以及未来潜在发展区域，通过改进医疗资源空间配给规则，调节区域内所有医疗资源布局与居住区的空间邻近关系并使其达到适宜的水平，追求能够及时运用适当规模的医疗机构将完备的医疗服务覆盖到尽可能多的城市建成区域，包括已有建成区和未来一定时期内新的建成区，甚至可以参照医疗服务等公共服务先行的原则指导城市更新或城镇新区开发。

#### 参考文献:

- [ 1 ] Micah A E, Su Y, Bachmeier S D, et al. Health sector spending and spending on HIV/AIDS, tuberculosis, and malaria, and development assistance for health: Progress towards Sustainable Development Goal 3 [J]. *Lancet*, 2020, 396(10252): 693 - 724.
- [ 2 ] Fenner R, Cernev T. The implications of the COVID-19 pandemic for delivering the Sustainable Development Goals [J]. *Futures*, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.futures.2021.102726>.
- [ 3 ] 于宜民. 构建人类健康共同体视域下社会资本对公众健康的影响机制 [J]. *社会科学辑刊*, 2020(5): 143 - 153.
- [ 4 ] 周建平, 刘程军, 徐维祥, 等. 中国新型城镇化与城市医疗资源空间适配性研究 [J]. *地理科学*, 2021, 41(7): 1168 - 1177.
- [ 5 ] 姜玉培, 甄峰, 孙鸿鹄. 基于街区尺度的城市健康资源空间分布特征——以南京中心城区为例 [J]. *经济地理*, 2018, 38(1): 85 - 94.

- 
- [6] Buceta B B, Lorenzo R B, Ramos A C, et al. Equity policies in health plans: Accessibility and something more? [J]. *Rev Saude Publica*, 2021, DOI: 10.11606/s 1518-8787.2021055002560.
- [7] 陈艳宁, 农圣, 陆增辉, 等. 需方视角下整合型医疗服务体系的服务环节和愿景[J]. *卫生经济研究*, 2020, 37(11): 3-7.
- [8] Shen C, Zhou Z L, Lai S, et al. Measuring spatial accessibility and within-province disparities in accessibility to county hospitals in Shaanxi Province of Western China based on web mapping navigation data [J]. *International Journal for Equity Health*, 2020, 19(1): 13.
- [9] 傅俐, 王勇, 曾彪, 等. 基于改进两步移动搜索法的北碚区医疗设施空间可达性分析[J]. *地球信息科学学报*, 2019, 21(10): 1565-1575.
- [10] 程兰花, 杨德刚. 乌昌地区医疗卫生资源失配度时空演化特征[J]. *中国科学院大学学报*, 2018, 35(3): 382-390.
- [11] Onwujekwe O, Mbachu C O, Ajaero C, et al. Analysis of equity and social inclusiveness of national urban development policies and strategies through the lenses of health and nutrition [J]. *International Journal for Equity Health*, 2021, DOI: 10.1186/s 12939-021-01439-w.
- [12] 宋雪茜, 邓伟, 周鹏, 等. 两层级公共医疗资源空间均衡性及其影响机制——以分级诊疗改革为背景[J]. *地理学报*, 2019, 74(6): 1178-1189.
- [13] Tonne C, Adair L, Adlakha D, et al. Defining pathways to healthy sustainable urban development [J]. *Environment International*, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106236>.
- [14] 丁威, 邬群勇. 基于轨迹偏移算法的居民就医时空特征与空间格局分析[J]. *地球信息科学学报*, 2021, 23(6): 979-991.
- [15] Neutens T. Accessibility, equity and health care: review and research directions for transport geographers [J]. *Journal of Transport Geography*, 2015, 43: 14-27.
- [16] 田玲玲, 张晋, 王法辉, 等. 公平与效率导向下农村公共医疗资源的空间优化研究——以湖北省仙桃市为例[J]. *地理科学*, 2019, 39(9): 1455-1463.
- [17] 陶印华, 申悦. 医疗设施可达性空间差异及其影响因素——基于上海市户籍与流动人口的对比[J]. *地理科学进展*, 2018, 37(8): 1075-1085.
- [18] Guagliardo M F. Spatial accessibility of primary care: concepts, methods and challenges [J]. *International Journal of Health Geographics*, 2004, DOI: 10.1186/ 1476-072X-3-3.
- [19] 郭爱妹, 顾大男. 健康不平等视角下医疗服务可及性对老年健康的影响——基于 CLHLS 数据的实证分析[J]. *人口与发展*, 2020, 26(2): 60-69.

- 
- [20] 董莹, 罗静, 王玉霞, 等. 供需关联视角下特大城市医疗卫生服务网络及其空间韧性——基于武汉市街道尺度的考察 [J]. 经济地理, 2022, 42(10): 61 - 71.
- [21] 郭亮, 彭雨晴, 贺慧, 等. 分级诊疗背景下的武汉市医疗设施供需特征与优化策略 [J]. 经济地理, 2021, 41(7): 73 - 81.
- [22] 杨国霞, 尤海梅, 胡纯广. 疫情防控背景下社区医养结合养老服务规划再思考 [J]. 城市问题, 2020(7): 21 - 27.
- [23] 王彦钧, 朱文健, 江镇伟, 等. 基于智慧城市思想的社区健康服务均衡性研究——以深圳市为例 [J]. 城市规划, 2020, 44(2): 95 - 102.
- [24] 王俊豪, 贾婉文. 中国医疗卫生资源配置与利用效率分析 [J]. 财贸经济, 2021, 42(2): 20 - 35.
- [25] 熊跃根, 黄静. 我国城乡医疗服务利用的不平等研究——一项于 CHARLS 数据的实证分析 [J]. 人口学刊, 2016, 38(6): 62 - 76.
- [26] 王磊, 王青芸. 韧性治理: 后疫情时代重大公共卫生事件的常态化治理路径 [J]. 河海大学学报: 哲学社会科学版, 2020, 22(6): 75 - 82.
- [27] 韩宗伟, 焦胜. 1980—2019 年湘鄂豫公共卫生服务均等性及其人地关系的时空差异 [J]. 地理学报, 2022, 77(8): 2019 - 2033.
- [28] 周紫燕, 黄魏, 许伟, 等. 基于随机森林算法的原始土壤图更新研究 [J]. 华中农业大学学报, 2019, 38(3): 53 - 59.
- [29] 史静静, 杨琳, 曾灿英, 等. 土壤制图中多目标属性的环境因子及其尺度选择——以黑龙江鹤山农场为例 [J]. 地理研究, 2018, 37(3): 635 - 646.
- [30] 程敏, 连月娇. 基于改进潜能模型的城市医疗设施空间可达性——以上海市杨浦区为例 [J]. 地理科学进展, 2018, 37(2): 266 - 275.
- [31] 孟田田, 张晶. 北京城区就医可达性评价及空间特征分析 [J]. 地理空间信息, 2017, 15(3): 62 - 65.
- [32] 焦敬娟, 王姣娥, 金凤君, 等. 高速铁路对城市网络结构的影响研究——基于铁路客运班列分析 [J]. 地理学报, 2016, 71(2): 265 - 280.
- [33] Yang N, Chen S, Hu W, et al. Spatial distribution balance analysis of hospitals in Wuhan [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2016, <https://doi.org/10.3390/ijerph13100971>.
- [34] Weibull J W. An axiomatic approach to the measurement of accessibility [J]. Regional Science and Urban Economics, 1976, 6(4): 357 - 379.

- 
- [35] Iverson L R, Prasad A M, Matthews S N, et al. Estimating potential habitat for 134 eastern US tree species under six climate scenarios [J]. *Forest Ecology and Management*, 2008, 254(3): 390 - 406.
- [36] 陶杰, 曹卫东, 吴娟. 长三角城市群上市民营企业发展水平变化及其影响因素 [J]. *经济地理*, 2022, 42(11): 124 - 132.
- [37] 马宇, 李德平, 周亮, 等. 长沙市基础教育资源空间可达性和供需匹配度评价 [J]. *热带地理*, 2021, 41(5): 1060 - 1072.
- [38] 张纯, 李晓宁, 满燕云. 北京城市保障性住房居民的就医可达性研究——基于 GIS 网络分析方法 [J]. *人文地理*, 2017, 32(2): 59 - 64.
- [39] Tanimura S, Shima M. Quantitative measurements of inequality in geographic accessibility to pediatric care in Oita Prefecture, Japan: Standardization with complete spatial randomness [J]. *BMC Health Services Research*, 2011, 11(1): 163.
- [40] Chen W, Cheng L, Chen X, et al. Measuring accessibility to health care services for older bus passengers: A finer spatial resolution [J]. *Journal of Transport Geography*, 2021, DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2021.103068.
- [41] 李静, 常媛媛. 中国省域医疗服务分布失衡性及治理效率研究 [J]. *安徽大学学报: 哲学社会科学版*, 2021, 45(2): 145 - 56.
- [42] Manugh K, Kreider T. What is mixed use? Presenting an interaction method for measuring land use mix [J]. *The Journal of Transport and Land Use*, 2013, 6(1): 63 - 72.
- [43] 贾斐雪, 闫金凤, 王甜. 大数据构建的赋分评价模型与功能区识别研究 [J]. *测绘科学*, 2021, 46(8): 172 - 178.
- [44] Frank L D, Andersen M A, Schmid T L. Obesity relationships with community design, physical activity, and time spent in cars [J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 2004, 27(2): 87 - 96.