· 论著 ·

基于多源时空数据的采血点效能诊断与网络优化研究
——以广州为例

谢桂芸　陈锦艳　欧阳剑　柯蓉蓉　杨溢　陈贞珍　杨乐东
(广州血液中心 广州市血液安全重点实验室,广东 广州 510095)

摘要:目的　基于多源时空数据,量化影响固定全血采血点日采血量的时空因素与建成环境效应,探索不同业态兴趣点(point of interest, POI)的影响半径,并构建采血点分类框架,为采血点效能诊断与网络优化提供数据参考。**方法**　以广州市 16 个固定全血采血点为研究对象,收集 2023 年逐日采血记录,构建“采血点-日”平衡面板数据集(16 点×365 d=5 840 观测值)。融合高德地图 POI、OpenStreetMap(OSM)路网及气象等多源数据,建立 300 m、500 m、800 m、1 000 m 缓冲区,提取周边业态数量、距地铁站距离、降雨、气温等变量。采用双向固定效应面板模型,引入因变量一阶滞后项捕捉采血行为的惯性效应。基于显著变量的回归系数构建各采血点的“结构功能指数”,识别其最优缓冲区,并结合采血点固定效应绘制二维象限图进行分类。**结果**　模型调整 R^2 为 0.89,Durbin-Watson 统计量为 1.90,滞后项系数稳定在 0.36($P<0.05$)。时间特征效应显著:活动日提升采血量 1 717.75 mL,节假日提升 3 755.53 mL,节假日与活动日重叠提升 5 650.49 mL($P<0.05$)。降雨日采血量降低约 419 mL($P<0.05$),日平均温度每升高 1℃,采血量降低约 31 mL($P<0.05$)。距地铁站距离系数为 0.95~1.39($P<0.05$)。POI 影响呈尺度差异:300 m 内休闲娱乐(+173.65 mL/单位)和购物消费(+2.95 mL/单位)显著为正;500 m 内旅游景点(+72.55 mL/单位)和酒店住宿(+40.09 mL/单位)显著为正;1 000 m 内上述效应减弱。基于固有采血能力与最优结构功能指数的二维分类,可将采血点划分为核心型、潜力型、调整型、资源依赖型四类。**结论**　本研究揭示了采血点效能的多维影响因素,提出了“圈层规划”选址评估思路和“因站施策”的分类参考框架,可为采供血机构的网络规划与资源配置提供数据参考。需要说明的是,献血点选址还涉及经费预算、部门协调、场地条件等复杂因素,本研究仅从空间计量角度为采供血网络优化策略提供量化分析新视角。

关键词:采血点;采供血网络;空间分析;面板数据;OLS 模型
中图分类号:R457.1　R193.3　　**文献标识码:**A　　**文章编号:**1004-549X(2026)6-0776-08
DOI:10.13303/j.cjbt.issn.1004-549x.2026.06.011

Multi-source spatiotemporal data-driven blood collection site efficiency diagnosis and network optimization: a case study of Guangzhou

XIE Guiyun, CHEN Jinyan, OUYANG Jian, KE Rongrong, YANG Yi, CHEN Zhenzhen, YANG Ledong.
Guangzhou Blood Center, The Key Medical Disciplines and Specialties Program of Guangzhou, Guangzhou 510095, *China.*
Corresponding author: YANG Ledong, Email: 490802@*qq.com*

Abstract: Objective　To quantify the spatiotemporal factors and built environment effects on daily blood collection volumes at fixed sites using multi-source spatiotemporal data, explore the influence radii of different point of interest (POI) categories, and develop a classification framework for sites, thereby providing data references for efficiency diagnosis and network optimization of blood collection sites. **Methods**　We collected daily blood donation records from 16 fixed whole blood collection sites in Guangzhou in 2023, constructing a balanced “site-day” panel dataset (16 sites × 365 days = 5 840 observations). Multi-source geospatial data, including Amap POI, OpenStreetMap (OSM) road network, and meteorological data were integrated to establish 300 m, 500 m, 800 m, and 1 000 m buffer zones around each site. Variables extracted included counts of surrounding commercial facilities, distance to the nearest subway station, rainfall, and temperature. A two-way fixed effects panel model was employed with a first-order lag term of the dependent variable to capture the inertial effect of blood donation behavior. Based on the significant regression coefficients, a "Structure-Function Index (SFI)" was constructed for each site to identify its optimal buffer radius. Combining inherent site capacity (fixed effects) with the optimal

基金项目:广州市科技计划项目(2025A03J3249);广州市医学重点学科(2025-2027)
第一作者简介:谢桂芸(1988-),女,副主任技师,Email:xgy880101@qq.com; **通信作者:**杨乐东,Email:490802@qq.com

SFI, a two-dimensional quadrant diagram was created to classify the sites. **Results** The optimized model showed an adjusted R^2 of 0.89 and a Durbin-Watson statistic of 1.90, with the lag term coefficient stable at 0.36 ($P<0.05$). Temporal effects were significant: campaign days increased blood collection by 1 717.75 mL, holidays by 3 755.53 mL, and overlapping holidays with campaign days by 5 650.49 mL ($P<0.05$). Rainy days reduced collection by approximately 419 mL ($P<0.05$), and each 1℃ rise in daily average temperature decreased collection by approximately 31 mL ($P<0.05$). Distance to the nearest subway station was significantly positive (coefficient 0.95-1.39, $P<0.05$). POI effects showed scale-dependent differences: within 300 m, leisure and entertainment (+173.65 mL/unit) and shopping (+2.95 mL/unit) were significantly positive; within 500 m, tourist attractions (+72.55 mL/unit) and hotels (+40.09 mL/unit) were significantly positive; within 1 000 m, these effects diminished. Based on the two-dimensional classification of inherent collection capacity and optimal SFI, sites were categorized into four types: core, potential, adjustment, and resource-dependent. **Conclusion** This study elucidates the multidimensional determinants of blood collection site efficiency, and provides quantitative evidence for performance diagnosis. It proposes a "concentric-zone planning" approach for site selection assessment alongside a "station-specific strategy" classification framework, offering data-driven references for network planning and resource allocation in blood collection and supply institutions. It should be noted that blood donation site selection also involves complex factors such as budgetary constraints, interdepartmental coordination, and venue conditions. This study provides a spatial econometric perspective for the quantitative optimization of blood collection networks.

Key words: blood collection site; blood supply chain; spatial analysis; panel data; ordinary least squares (OLS) model

血液安全与可及性是全球公共卫生模式的核心支柱,也是实现全民健康覆盖与可持续发展目标的关键要点[1-2]。我国自 1998 年《中华人民共和国献血法》实施以来,逐步建立起以无偿献血为根基的血液保障模式[3]。在长期实践过程中,各级血站在献血点建设、运行管理方面积攒了丰富经验,无偿献血事业持续进步,为临床用血安全给予了坚实保障[4]。街头固定献血点作为全血采集的主要地方,其布局与效能直接影响采供血网络的区域血液供应能力[5-6]。

随着城市化进程加速、商圈格局动态改变,部分过去采血量较大的献血点出现了采血量下降的情况,这表明献血点布局需要根据时代发展进行优化调整[7]。然而,固定献血点建设会涉及场地租金、装修配套、部门协调等方面,意味着成本较高,所以科学前瞻地进行选址,对于降低运营调整成本来讲,有着重要的意义[8]。赵轶伦等[9]学者以南京市为例,研究了献血点选址当中的宏观区位要素,提出商业地段、交通场站等五类区位要素,对采血的效果有显著影响。陈锦艳等[10]学者借助地理信息系统技术,分析了广州市献血者意向献血地点的空间分布,发现现有献血点跟意向献血点之间存在匹配差异。这些研究为献血点选址奠定了重要的理论和实践基础。

与此同时,城市空间组织与设施布局研究在城市规划、商业布局等领域已经拥有了相对成熟的理论和方法,包括中心地理论、空间相互作用理论,还有基于兴趣点(point of interest,POI)数据(地图数据中标注的特定地点类型,如商场、餐厅、医院等)的空间分析技术等[11-13]。把空间计量方法与采供血网络规划融合起来,有望为采血点效能诊断、网络优化提供更精准的数据支持。近些年来,多源地理空间数据的可获取性明显提高,这就为量化采血点周边建成环境特征创造了条件[14]。

本研究尝试将城市规划领域成熟的时空分析方法引进采供血领域,把广州市 16 个固定采血点当作研究对象,融合多源地理空间数据,运用面板数据模型来分析采血量的时空影响因素,并构建采血点分类框架。研究的创新之处主要为:1)方法论层面:通过设置多级缓冲区来揭示不同周边业态对采血量的影响范围,提出了“圈层规划”的选址评估思路;运用面板数据模型来控制站点差异和时间趋势。2)实践层面:依据回归结果,建立“结构功能指数”与“固有采血能力”二维指标模式,将采血点分成“核心型、潜力型、调整型、资源依赖型”四类,为采供血网络的差异化优化、新址规划提供了数据参考。

需要说明的是,献血点选址涉及经费预算、部门协调、场地条件、政策审批等诸多复杂因素,本研究仅从空间环境角度提供量化参考,旨在为采供血能力建设贡献一个基于高精度时空大数据的微观实证案例,为采供血网络规划提供新的分析视角。

1　资料与方法

1.1　研究区域与数据来源

本研究以广州市为研究区域,涵盖全市 16 个固定全血采血点(以下简称“采血点”)。1)采血记录:来源于广州血液中心 2023 年全年采血数据,包含采血日期、采血量(mL)及对应采血点 ID。将原始数据按“采血点 ID-日期”维度汇总,形成平衡面板数据集,共 16 采血点×365 d = 5 840 个观测值。2)地理空间数据:基于采血点经纬度,建立 300 m、500 m、800 m、1 000 m 缓冲区。采集 2023 年广州市高德地图 POI,OpenStreetMap(OSM)路网,夜间灯光均值等数据,提取各缓冲区内休闲娱乐、购物消费、旅游景点、酒店住宿等业态数量,以及采血点距最近地铁站的距离。3)气象数据:来源于美国国家海洋和大气管理局国家环境信息中心发布的国家基本气象站广州站点 2023 年逐日观测数据,包括是否降雨和日平均气温两个变量。4)时间特征变量:根据日期生成是否节假日和是否举办献血活动两个虚拟变量,并组合为 3 个时间虚拟变量:time_0_1(活动日非节假日)、time_1_0(节假日非活动日)、time_1_1(活动日+节假日),以“非活动日非节假日”为参照组。

1.2　变量筛选与模型变量

为识别影响采血量的核心环境因素,采用多步筛选策略:首先通过相关性分析筛选与采血量显著相关的周边业态变量;其次采用最小绝对收缩和选择算子(least absolute shrinkage and selection operator,LASSO)回归压缩变量;最后进行多重共线性诊断[方差膨胀因子(variance inflation factor,VIF)< 10 为入选标准]。VIF 用于衡量自变量间多重共线性程度。

最终纳入模型的变量包括:核心解释变量(各缓冲区筛选出的 POI 数量、距地铁站距离、气象变量(是否降雨、日平均气温))、动态效应变量(因变量一阶滞后项)、时间虚拟变量(time_0_1、time_1_0、time_1_1)、控制变量(采血点区域分组 site_id_group、时间趋势 time_period)。采血点固有差异通过站点固定效应控制,时间固定效应通过时间虚拟变量实现。

1.3　模型构建与估计方法

为控制采血点不随时间变化的固有特征(如地理位置、知名度)以及随时间变化的宏观冲击(如季节、公共事件,如献血活动),构建双向固定效应面板模型。初始模型诊断显示存在序列相关和多重共线性问题。为此,引入采血量一阶滞后项以捕捉采血行为的惯性效应,并联合相关性分析、LASSO 回归和共线性诊断筛选变量,优化后模型 Durbin-Watson(DW)统计量提升至约 1.90,相关问题基本消除,最大 VIF 降至 2.06 以下。估计采用普通最小二乘法(Ordinary Least Squares,OLS)并配合稳健标准误修正。优化后模型形式为:

$$Yit=\alpha i+\gamma t+\rho Yi,t-1+\beta Xit+\varepsilon it$$

其中,Yit 为采血点 i 在第 t 天的采血量,αi 为采血点固定效应(以 site_1 为参照),γt 为时间固定效应(以“非活动日非节假日”为参照),Xit 为解释变量,ρ 为滞后项系数,εit 为随机误差项。

1.4　多尺度分析与站点分类

为探索不同业态 POI 的最佳影响范围,分别对 300 m、500 m、800 m、1000 m 缓冲区重复上述建模过程。鉴于 OLS 估计框架下各缓冲区的 POI 变量组合与回归系数存在差异,为剥离站点固有能力、纯化环境贡献,计算结构功能指数(structure-function index,SFI):

$$SFIi,b=\sum k\beta\hat{}k,b\cdot POIi,k,b+\beta\hat{}subway,b\cdot Distancei,b$$

其中,β^k,b 为第 k 类 POI 在缓冲区 b 的回归系数,POIi,k,b 为采血点 i 在缓冲区 b 内第 k 类 POI 的数量,Distancei,b 为采血点 i 距最近地铁站的距离。SFI 仅包含 POI 环境与交通可达性的线性贡献,明确排除了站点固定效应、时间虚拟变量及气象变量,实现了"环境效应"与"站点效应"的统计分离。由于不同缓冲区的 POI 类别与系数绝对值差异较大,结构功能指数的原始值不可直接跨尺度比较。本文采用相对指数法进行归一化处理得到相对结构功能指数(relative structure-function index,RSFI):在每个站点内部,将其四个缓冲区的 SFI 最大值设为 100,其余按比例缩放,即:

$$RSFIi,b=\max(SFIi,300,SFIi,500,SFIi,800,SFIi,1000)SFIi,b\times100$$

选择使 RSFIi,b 最大的缓冲区作为该采血点的最优缓冲区。

在站点分类层面,将采血点的固有采血能力与最优缓冲区结构功能指数(归一化后的 RSFI)相结合,绘制二维象限图。以固定效应中位数和结构功能指数中位数为阈值,将采血点划分为核心型、潜力型、调整型、资源依赖型四类。

1.5 模型评价指标

调整 R^2(拟合优度)、Durbin-Watson 统计量(自相关检验,理想值接近 2)、方差膨胀因子(VIF<10 表示多重共线性可控)、变量显著性($P<0.05$)。所有统计分析均在 Python 3.9(Statsmodels 库)中完成,空间数据处理在 ArcGIS 10.8 中实现。

2 结果

2.1 变量描述性统计

2023 年广州市 16 个采血点共产生 5 840 个“站点-日”观测值,日采血量均值为 9 526.83 mL,标准差为 7 451.29 mL。站点距最近地铁站的平均距离为 884.57 m。日平均气温均值 24.09℃,标准差为 6.10℃。300 m 缓冲区内休闲娱乐、购物消费的平均数量分别为 8.62 和 12.35;500 m 缓冲区内酒店住宿和旅游景点分别为 6.89 和 3.25;1 000 m 缓冲区内休闲娱乐和酒店住宿分别为 35.71 和 22.58,见表 1。

表 1 采血点采血效能影响因素的变量说明与描述性统计(2023 年,n=16 个采血点)

Table 1 Variable definitions and descriptive statistics for factors influencing blood collection efficiency at donation sites(2023, n=16)

	变量名称	观测数	均值	标准差	最小值	最大值	数据来源/缓冲区
因变量	日采血量(mL)	5 840	9 526.83	7 451.29	200	70 800	采血记录
地理特征	距最近地铁站距离(m)	16	884.57	469.94	301.31	2 166.13	OSM 路网
气象变量	日平均气温(℃)	5 840	24.09	6.10	7.67	34.56	国家基本气象站广州站点
气象变量	降雨虚拟变量(是否降雨)	5 840	0.35	0.48	0	1	国家基本气象站广州站点
POI 变量	休闲娱乐(300 m 内)	16	8.62	7.85	1	29	高德 POI
POI 变量	购物消费(300 m 内)	16	12.35	9.12	2	35	高德 POI
POI 变量	运动健身(300 m 内)	16	5.78	4.92	0	18	高德 POI
POI 变量	酒店住宿(300 m 内)	16	3.91	3.27	0	12	高德 POI
POI 变量	酒店住宿(500 m 内)	16	6.89	5.73	0	21	高德 POI
POI 变量	旅游景点(500 m 内)	16	3.25	4.18	0	15	高德 POI
POI 变量	休闲娱乐(1 000 m 内)	16	35.71	28.46	5	112	高德 POI
POI 变量	酒店住宿(1 000 m 内)	16	22.58	18.93	1	68	高德 POI
时间虚拟变量	time_0_1(非节假日 + 无活动)	5 840	0.62	0.48	0	1	根据日期 / 活动记录生成
时间虚拟变量	time_1_0(节假日 + 无活动)	5 840	0.15	0.36	0	1	根据日期 / 活动记录生成
时间虚拟变量	time_1_1(节假日 + 有活动)	5 840	0.23	0.42	0	1	根据日期 / 活动记录生成
滞后项	前一日采血量	5 824	9 528.17	7 453.61	200	70 800	由因变量生成
控制变量	站点区域分组	16	2.5	1.15	1	4	根据站点区位划分
控制变量	时间趋势	5 840	183	105.41	1	365	按日期排序生成

2.2 模型诊断与优化效果

Durbin-Watson 统计量为 1.90,自相关问题基本消除;最大 VIF 降至 2.06 以下,共线性可控。R^2 为 0.89。

2.3 核心影响因素分析

表 2 汇报了各个缓冲区的 OLS 估计结果。所有模型均控制了站点固定效应和时间固定效应。在 OLS 模型中,由于滞后项、时间虚拟变量(time_0_1、time_1_0、time_1_1)及气象变量的取值仅随采血点或日期变化,不随空间缓冲区尺度变化(即同一采血点在同一天的滞后采血量、节假日状态、降雨情况在各缓冲区模型中完全相同),因此在分别对 300 m、500 m、800 m、1 000 m 四个缓冲区建立模型时,这些变量的 OLS 估计系数保持一致。各缓冲区模型的差异仅体现在 POI 变量和距离最近地铁站系数上,后者因缓冲区尺度不同而呈现差异化的估计结果。

2.3.1 时间动态效应

滞后项高度显著($P<0.05$),系数为 0.36。

2.3.2 时间特征效应

时间虚拟变量高度显著($P<0.05$)。以“非活动日非节假日”为基准,单独活动日(time_0_1)系数为 1717.75 mL,单独节假日(time_1_0)为 3 755.53 mL,节假日与活动日重叠(time_1_1)为 5 650.49 mL。

2.3.3 气象效应

两个气象变量显著($P<0.05$),系数为负,降雨日采血量降低约 419 mL,日平均温度每升高 1℃,采血量降低约 31 mL。

2.3.4 地理特征效应

距最近地铁站距离在 300 m、500 m 和 1 000 m 模型中均显著为正(系数 0.95~1.39,$P<0.05$)。

2.3.5 POI 环境效应

300 m 范围内,休闲娱乐(系数 173.65)和购物消费(系数 2.95)与采血量显著正相关;500 m 范围内,旅游景点(系数 72.55)和酒店住宿(系数 40.09)显著为正;1 000 m 范围内,休闲娱乐(系数 47.91)和酒店住宿(系数 9.37)仍显著为正,但系

数较 300 m 和 500 m 减小。

表 2　不同空间缓冲区尺度下采血点采血效能影响因素的 OLS 面板回归结果(控制站点与时间固定效应)

Table 2　OLS panel regression results for blood collection efficiency determinants across varying spatial buffer scales (controlling for site and time fixed effects)

	300 m	500 m	800 m	1 000 m
滞后项		0.36* (0.02)		
时间效应				
time_0_1(活动日非节假日)		1 717.75* (136.42)		
time_1_0(节假日非活动日)		3 755.53* (161.1)		
time_1_1(节假日+活动日)		5 650.49* (210.29)		
气象变量				
降雨虚拟变量(是否降雨)		−419.42* (115.02)		
日平均气温		−30.90* (8.81)		
地理特征				
距最近地铁站距离	1.39* (0.14)	1.09* (0.12)	_	0.95* (0.16)
POI 变量				
休闲娱乐	173.65* (7.9)	_	_	47.91* (2.19)
购物消费	2.95* (0.33)	_	_	_
酒店住宿	_	40.09* (2.40)	_	9.37* (0.61)
旅游景点	_	72.55* (7.83)	_	_
控制变量				
站点固定效应		已控制		
时间固定效应		已控制		
样本量 n	5 824	5824	5 824	5 824
R^2		0.89		

注：* $P<0.05$。括号内为稳健标准误。800 m 模型因 POI 变量全部剔除未列示。空白表示该变量未纳入模型或未通过显著性检验。

2.4　站点能力诊断

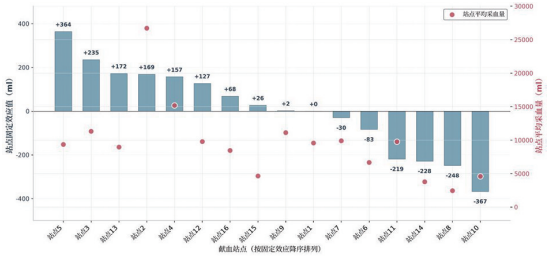
从前述模型提取了各站点的固定效应值，作为其固有采血能力的度量(图 1)。

2.5　最优缓冲区分析

表 3 展示了各个站点在不同缓冲区下的结构功能指数及其最优缓冲区。

2.6　站点效能二维分类与网络优化策略

将站点的固有采血能力(图 1 纵轴)与最优缓冲区结构功能指数(表 3)相结合，可将 15 个站点(站点 15 广州血液中心除外)划分为四种战略类型(图 2)。



注：站点 1：英雄广场献血屋，站点 2：北京路献血屋，站点 3：天河中怡广百献血屋，站点 4：中大三院献血屋，站点 5：花城广场献血屋，站点 6：东圃大马路献血屋，站点 7：江南西献血屋，站点 8：新港西献血屋，站点 9：客村献血屋，站点 10：东晓南献血屋，站点 11：新市献血屋，站点 12：京溪献血屋，站点 13：荔湾广场献血屋，站点 14：宝华豪庭献血屋，站点 15：广州血液中心，站点 16：大沙地献血屋。

图 1　广州市 16 个采血点固有采血能力诊断(基于站点固定效应)

Figure 1　Diagnostic assessment of inherent blood collection capacity at 16 donation sites in Guangzhou (based on site fixed effects)

表 3　采血点结构功能指数与最优作用半径(基于预测值剥离法)

Table 3　Structural-functional index and optimal service radius of blood collection sites (based on the predicted value stripping method)

站点 ID	300m_SFI	500m_SFI	800m_SFI	1000m_SFI	最优缓冲区
1	93.9	81.97	38.15	100	1 000 m
2	100	67.75	32.68	73.1	300 m
3	52.56	46.11	26.38	100	1 000 m
4	93.06	77.52	44.8	100	1 000 m
5	28.32	35.56	22.16	100	1 000 m
6	88.85	71.84	33.07	100	1 000 m
7	65.83	25.49	17.86	100	1 000m
8	100	51.77	22.91	80.89	300 m
9	82.43	64.92	43.43	100	1 000 m
10	100	43.12	24.07	97.66	300 m
11	100	72.49	35.35	94.02	300 m
12	72.55	96.06	49.29	100	1 000 m
13	57.21	100	56.59	98.19	500 m
14	47.27	100	50.9	78.81	500 m
15	78.97	95.13	32.2	100	1 000 m
16	100	46.5	9.91	88.04	300 m

注：站点 15(广州血液中心)因承担区域性核心职能，功能定位与纯采血点存在差异，后续分类分析中未纳入。

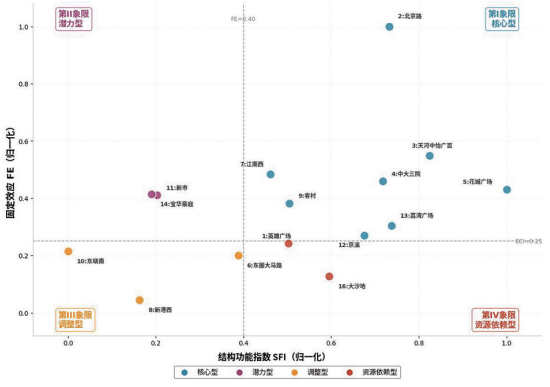


图 2　采血点网络优化战略分类图

Figure 2　Strategic classification map for blood collection network optimization

3 讨论

本研究以多源时空数据为基础,对广州市 16 个固定采血点的采血效能展开了初步探究,剖析了时间动态、地理区位、建成环境对采血量所产生的多维影响。下面结合研究结果,探讨其对于采供血网络规划的参考价值。

本研究发现,前一日的采血量与当日采血量呈现出显著正向关联,这提示采血行为存在着“日度惯性”。此项发现将关于采血量时间波动的研究,从传统的季节性、周期性[15]细化到了日间尺度,揭示出采血活动在短期内具备连续性的特点。从采供血管理的方面来看,这一惯性效应能够为资源调配提供参考依据:采供血机构可把昨日采血量当作次日人员与耗材调配的简易参考指标,促使经验安排朝着数据辅助决策的方向转变。此外,时间虚拟变量得出的结果显示,在节假日与活动日重叠的那段时间,采血量的提升最为明显,此情况与国内外有关活动招募有效性的研究结论[16]相契合,据此,采供血机构可以优先在节假日安排流动采血车,或者增加固定点的服务时长,集中投放宣传推广资源,以此来将采集效率最大化。

本研究发现降雨和高温都会对采血量产生抑制作用,这和既有文献的结论一致[17]。降雨产生的效应主要是通过限制“出行能力”来发挥作用,温度产生的效应则是通过降低“出行意愿”来产生影响,这两种效应的机制互补。然而,气象变量的效应量级(−419.42 mL 与−30.90 mL/℃)相对于活动日/节假日的时段效应(+1 717.75 mL 至+5 650.49 mL)仍属次要,提示在采供血运营管理中,时间窗口规划(何时采)的优先级高于气象条件适应(如何应对天气)。

距地铁站距离的系数明显呈现正相关(0.95~1.39,$P<0.05$),这个结果和“越靠近交通枢纽就越好”的直观判断不一样,提示采血点选址需区分通过区和停留区。地铁站出入口周边虽然人流量比较大,但是人群通行的时候目的性比较强、停留时间短,献血意愿可能较低;而距地铁站 300~500 m 的商业休闲区域,人群通常处于消费或者休闲状态,停留时间会长一些,相比前述人群,他们更易接受献血动员。这一发现和国内关于献血屋选址应当靠近“商业繁华区、步行街”的经验总结[7,18]形成呼应,又进一步为“繁华区”跟“交通枢纽”之间的空间距离给出了实证参考。在采血点网络规划工作中,进行新址评估这个环节,可以优先考察地铁站周边 300~500 m 范围内的商业节点,而非紧邻地铁出口的位置。

本研究的一项核心发现是:不同业态 POI 对采血量的影响有着显著的尺度差异,这种差异能够概括为“圈层效应”[19],可为选址评估提供可操作性的空间参考。在 300 m 核心圈之内,商业休闲类设施密集的区域属于采血点选址需要优先考察的范围(也就是“黄金半径”);处于 500 m 辐射圈的区域中,旅游景区和酒店密集的地方可以考虑设立季节性或者流动采血点,以此挖掘游客群体的潜力;1 000 m 可当作采血点空间辐射范围的经验上限,一旦超过这个范围,周边设施对采血量的边际贡献会明显下降。这一“圈层效应”的提出,给不同业态的“有效半径”给出了具体数值参考,能帮助采供血机构在规划新址时进行更精细空间评估:可以依据目标区域周边多圈层的 POI 分布,快速判断该位置潜在采血效能。

基于固有采血能力,也就是固定效应与最优 SFI 的二维分类,可把 15 个采血点(其中站点 15 因功能定位特殊,不纳入本分类)分为四种类型,为采供血网络的差异化优化提供参考框架。核心型站点有 8 个,其固有采血能力与 SFI 都比较高,是当前网络的稳定产出点,它们周边的环境特征能够作为新址选址的参照。潜力型站点有 2 个,它们 SFI 比较高,而固有采血能力却偏低,表明运营层面,像是宣传、服务时间、活动频率等,可能存在提升空间,这些可能是实现网络增量的突破口。调整型站点有 3 个,它们两项指标都偏低,建议结合区域人口、交通规划等更多因素来进行综合评估。资源依赖型站点有 2 个,它们的固有采血能力较强,不过 SFI 偏低,这意味着其采血量可能更多靠的是自身资源,比如临近医院,对于此类站点的成功模式需要结合具体背景去分析,其成功模式不容易被复制,在新址规划时应该避免出现此类“孤岛型”选址。这样的分类思路把采血点当作网络中的差异化节点,能够为精准化管理提供量化依据[20]。不过要明确的是,本研究的分类是按照当前数据的诊断结果来定的,实际优化决策时,还需要把区域人口分布、交通规划等更多因素综合考虑进去。另外,站点 15(也就是广州血液中心)因其承担的多重核心职能,不适宜放入本分类框架进行判断,该站点运营策略需结合区域中心功能综合考量。

本研究存在一些局限:其一,数据仅仅覆盖了2023 年这一年,所以很难去捕捉采血量的长期变化趋势。其二,模型主要纳入的是环境供给端变量,并没有考虑献血者个体特征,像年龄、职业、献血动机等方面的影响。其三,受到数据可获得性的限制,本研究没能纳入逐日人流热力值。探索性分析表明热力值并不显著($P>0.05$),其效应已经被POI、时间变量、气象变量联合覆盖,删除它对结论的影响有限;本研究提出的"圈层效应"、站点分类主要是基于广州的案例,其普适性有待更多城市数据的验证。未来的研究可以从这些方向拓展:纳入多年的数据,逐日热力值、动态实时数据,比如交通流量、社交媒体热度等,以此来提升模型的时效性;进行跨城市的比较去研究验证"圈层效应"的普适性;把采血点效能模型和医院用血需求预测链接,去探索全链条协同优化的相关情况[20]。

综合前面这些分析内容,本研究针对采供血能力建设给出下面这些具有参考价值的建议。在选址评估方面,可以借鉴"圈层规划"的思路,把地铁站周边 300~500 m 范围内的商业休闲区域当作重点考察的区域,并且依据不同业态的主导半径来进行差异化的布局。在运营管理方面,能够利用采血量的"日度惯性"来进行短期资源的调配,将节假日和活动日重叠的时段作为重点运营窗口,对潜力型站点适度增加运营投入。在网络优化方面,可以运用二维分类框架对采血点展开差异化分析,以此为资源配置提供量化依据。在数据支撑方面,鼓励采供血机构强化空间数据、运营数据的积累和分析工作,循序渐进地建立基于数据的网络规划与效能评估机制。

本研究给出了一个针对采供血网络优化的基于多源时空数据的分析框架,其得出的结论能够为采血点选址、效能诊断、网络优化提供数据方面的参考。需要再次说明的是,献血点选址还涉及经费预算、部门协调、场地条件等复杂要素,本研究只是从空间计量角度为采供血网络优化策略提供量化分析新视角。

利益冲突说明/Conflict of Interests

所有作者均声明不存在利益冲突。

伦理批准及知情同意/Ethics Approval and Patient Consent

本研究已通过广州血液中心医学伦理委员会审批(编号:广州血液中心医伦[2024]第 015 号)。

作者贡献/Authors' Contribution

谢桂芸:研究设计、数据获取、数据分析、结果解释、论文撰写与修改;陈锦艳:数据收集与整理、地理空间数据处理、模型构建;欧阳剑:数据预处理、统计分析、图表绘制;柯蓉蓉,杨溢:文献调研、变量筛选、结果解读;陈贞珍:数据质量控制、模型验证、论文校对;杨乐东:研究框架设计、空间分析指导、论文最终定稿。

[参考文献]

[1] World Health Organization. Blood safety and availability [EB/OL]. (2023-06-14) [2026-03-23]. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blood-safety-and-availability.

[2] World Health Organization. Action framework to advance universal access to safe, effective and quality-assured blood products 2020-2023[R]. Geneva: WHO, 2020.

[3] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国献血法:1997 年主席令第 93 号[S]. 北京:中国法制出版社, 1998.
Standing Committee of the National People's Congress. Law of the People's Republic of China on Blood Donation: Order No. 93 of the President of the People's Republic of China[S]. Beijing: China Legal Publishing House, 1998.

[4] 中国输血协会. 中国无偿献血事业发展报告[R]. 北京:中国输血协会, 2022.
Chinese Society of Blood Transfusion (CSBT). Annual Report on Development of China's Blood Collection and Supply Industry[R]. Beijing: CSBT, 2022.

[5] 国家卫生健康委员会. 血站管理办法[S]. 北京:国家卫生健康委员会, 2017.
National Health Commission of the People's Republic of China. Measures for the Administration of Blood Stations [S]. Beijing: National Health Commission of the People's Republic of China, 2017.

[6] World Health Organization. Towards 100% voluntary blood donation: a global framework for action[R]. Geneva: WHO, 2010.

[7] 于廉, 王乃红, 洪缨, 等. 成都中心城区献血屋运行情况调查分析[J]. 中国输血杂志, 2016, 29(4): 417-419.
YU L, WANG N H, HONG Y, et al. Analysis and reflection on the operation status of blood donation house[J]. Chin J Blood Transfusion, 2016, 29(4): 417-419.

[8] 马婧,王乃红,于廉,等. 血液中心远郊献血屋运行模式探讨[J]. 中国输血杂志, 2017, 30(11): 1278-1281.
MA J, WANG N H, YU L, et al. The operation model of suburban blood donation houses for blood centers[J].

Chin J Blood Transfusion,2017, 30(11):1278-1281.

[9] 赵轶伦,应上云,冒丹,等. 献血点选址建设中宏观区位要素的研究——以南京红十字血液中心为例[J]. 中国输血杂志,2020,33(9):994-997.
ZHAO Y L, YING S Y, MAO D, et al. Fixed blood donation site selection: macro-factors on assessing location suitability, a case study of Nanjing Red Cross Blood Center[J]. Chin J Blood Transfusion, 2020,33(9):994-997.

[10] 陈锦艳,谢桂芸,柯蓉蓉,等. 基于地理信息系统技术及其软件的献血者意向献血地点空间分布分析[J]. 中国输血杂志,2022,35(12):1248-1251.
CHEN J Y, XIE G Y, KE R R, et al. Spatial distribution analysis of blood donors' intended donation addresses based on ArcGIS[J]. Chin J Blood Transfusion, 2022, 35(12):1248-1251.

[11] CHRISTALLER W. Central places in southern Germany [M]. Englewood Cliffs:Prentice-Hall, 1966.

[12] REILLY W J. The law of retail gravitation[M]. New York:Knickerbocker Press, 1931,63-71.

[13] 李满娥,缪淑佳,王小龙. 基于 POI 数据的城市功能区识别方法研究[J]. 测绘与空间地理信息,2025,48(1):133-135.
LI M E, MIAO S J, WANG X L, et al. Research on urban functional area identification method based on POI data[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2025,48(1):133-135.

[14] 孙乾,杜昌轩,回景溟. 基于 POI 的城市商业空间布局特征对比研究[J]. 绿色科技,2025,27(19):179-205.
SUN Q, DU C X, HUI J H. A comparative study on the spatial layout characteristics of urban commercial areas based on POI data[J]. Journal of Green Science and Technology,2025,27(19):179-205.

[15] NANDI A, SCHNEEWEISS S, CHIU H, et al. Temporal trends in blood donation and transfusion in the United States, 2006-2016[J]. JAMA, 2020, 323(13):1286-1288.

[16] FERGUSON E. The role of interventions in promoting blood donation:a scoping review[J]. ISBT Science Series, 2015, 10(S1):224-230.

[17] LIN S W, ANISA K N, CHEN Y C. Effects of meteorological factors on blood donation[J]. Transfus Apher Sci, 2020,59(6):102901.

[18] 陈红,胡维,陈慧敏,等. 构建无偿献血的长效机制[J]. 中国输血杂志,2013, 26(1):90-92.
CHEN H, HU W, CHEN H M, et al. Establishment of a long-term mechanism for voluntary blood donation[J]. Chin J Blood Transfusion, 2013,26(1):90-92.

[19] LI J, ZHU X, ZHANG Y, et al. A data-driven approach for managing red blood cell inventories in a hospital blood bank[J]. Health Care Management Science, 2021, 24(2):386-402.

[20] OSORIO A F, BRAILSFORD S C, SMITH H K. A structured review of quantitative models in the blood supply chain: a taxonomic framework for decision-making [J]. International Journal of Production Research, 2015, 53(24):7191-7212..

(2026-04-14 收稿,05-18 修回,06-05 接收)

本文编辑:李宜博