

## 探索与研究

# 基于系统布局问题的医院门诊布局优化研究进展

于佳正<sup>1</sup>, 庞玉成<sup>2</sup>

(1. 滨州医学院卫生管理学院, 山东省烟台市 264003; 2. 济宁医学院, 山东省济宁市 272067)

**【摘要】** 医院门诊区作为接触病患的首端窗口区域, 科室众多、功能复杂。近年来, 随着我国医院门诊就诊量的持续增加, 如何优化门诊区域布局为使用者提供更好的服务, 成为研究者积极探索的难题。笔者首先对我国门诊区内的现状及特点简要概括, 指出门诊区域布局优化存在一定的挑战性, 其次研究基于系统布局问题(SLP)下优化医院单元功能方面的文献, 进一步阐述系统布局问题中不同分类的研究进展及优缺点。最后根据以上研究进行综合讨论, 为我国现代医院门诊区域的优化提供思路。

**【关键词】** 医院布局; SLP; 门诊布局

**【中图分类号】** R197 **【文献标识码】** B **【文章编号】** 1672-4232(2024)02-0029-04

**【DOI编码】** 10.3969/j.issn.1672-4232.2024.02.008

医院作为医疗服务健康产业的重要组成部分, 是提供医疗服务与科研的重要场所, 其管理质量的好坏会直接影响到患者就诊服务的水平与效率。已有很多学者意识到医院建筑布局的重要性, 探索各种结构优化的方法, 以此来提高医院使用者的使用感受。

虽然国外已有部分学者将系统布局问题(System Layout Problem, SLP)应用于医院建筑的优化, 但我国有关该方面研究仍然较少。笔者旨在通过对现有的布局优化问题进行总结归纳与分析, 为我国医疗建筑中门诊布局的改进提供思路与建议。

## 1 综合医院门诊布局的特点及现状

### 1.1 门诊区域布局的特点

在医院内部的各大功能区中, 门诊区涵盖不同医疗功能的科室、属医院内各大分区中功能较为复杂的区域。该区域作为接触病患的首端, 人流量大且多集中在特定时段, 我国一些大型医院的年门诊量甚至可以达到几百万人次。

由于门诊中不同科室的使用频率有差异, 各个科室之间的患者流量不同, 造成组织单元之间交通拥挤程度的不同。且患者在就诊过程中的诊疗路径有所差别, 通常会涉及到不同科室、楼层甚至不同楼宇之间, 使得门诊区域布局设计的难度进一步增加。

### 1.2 门诊区域布局的现状

医院环境对初次就诊的患者来说较难适应, 患者在无明显标识且科室众多的门诊区内容易迷失方向。根据调查显示, 患者在医院就诊过程中与医生面诊的时间仅占其在医院滞留时间的7.5%~16.5%, 患者就诊的效率不高<sup>[1]</sup>。随着就诊人数的增多及一些门诊科室单元布局的不合理, 部分科室等候区已无法容纳太多患者, 很多患者

在公共过道内等候, 影响通行秩序。随着疫情防控的常态化, 部分医院门诊科室用房面积不足, 造成需求与实际不符<sup>[2]</sup>。此外, 部分门诊科室之间联系不紧密、各自为战。患者无序流动、医院秩序混乱, 影响患者的就诊体验。

随着患者流量增大, 医护人员的工作量随之增加, 如何改善医院现有环境, 提高患者诊疗效率, 采取何种措施应对门诊区内已显现出的问题, 如何应对不同医院的发展目标等, 不断给医院的建设改进带来新的挑战。综上, 优化门诊布局, 给不同类型的使用者提供良好的环境迫在眉睫。

## 2 设施布局问题的分类及研究方法

SLP的首次提出是为降低工厂制造业中的物流运输成本, 通过以工厂中材料运输的成本以及时间最小化作为目标, 改善厂间布局, 以达到降低物品运输成本、提高运营效率的目的。随着对SLP的进一步理解, 不断延伸出不同的分支、算法, SLP也开始应用于更多领域, 例如商超、机场、行政楼等。有越来越多的学者意识到SLP应用于医院建筑内部单元的优化上, 可以在一定程度促使医疗资源合理分配、减轻医护人员的工作量, 改善患者的就诊体验。

在此按照二次分配问题(Quadratic Assignment Problem, QAP)、二次集覆盖问题(Quadratic Set Covering Problem, QSP)、图论问题、线性整数规划问题以及混合线性整数规划问题五种分类方法, 进一步探究门诊区域布局的优化方法。

### 2.1 门诊布局二次分配问题和二次覆盖问题研究

QAP是最常见的系统布局问题规划方法之一, 是由Koopmans等首次提出, 最初该概念是用于寻求如何降低经济活动中的运输成本对不同厂址进行抉择,

找出使得各个厂间利润成本最大化的解。因目标函数变量是二次,约束条件是线性函数而得名<sup>[3]</sup>。

Elshafei 开始将其应用于医院的布局优化,在研究中以相关科室之间的距离位置及其中患者流量数为基础来排列各个科室布局,进行启发式计算<sup>[4]</sup>。该学者将患者在就诊过程的路径视为对称路径,进一步生成对称矩阵来计算。但在实际情况下,患者的就诊路径与所患疾病及医院门诊区内各单元布局有关,由于大多数患者不熟悉门诊环境,诊疗路径存在一定的随机性,单纯用对称矩阵来对各单元赋予权重会存在一定的偏差,从而进一步影响单元的排布。

Rismanchian 和 Lee<sup>[5]</sup>提出了一种通过优化门急诊布局来减少患者的寻路损耗,同时可以满足不同医疗服务目标的方法。Paes 等<sup>[6]</sup>通过布局优化的启发式算法探究单元面积不等的优化方法,来寻找单元之间物料流最小的路径。值得注意的是,部分包括 QSP 的布局优化方法,在计算单元权重中以两空间内质心点为距,而门诊室中不同科室面积占地的大小及各功能的差异均会对传统的质心点位置造成影响,但并没有学者阐述如何科学定位空间内质心点。

通过查阅文献发现,QAP 是根据不同单元的权重差异对布局进行优化调整。很多学者探讨、调整不同的单元赋值方法,但很少有学者在研究中详细描述单元权重的计算过程,权重赋值过程模糊。此外,由于不同疾病的复杂程度不同,在给不同单元赋值时,可在患者流的基础上,将就诊流程中的不同环节比重纳入考虑。

QSP 与 QAP 均通过对单元结构的重新调整来优化布局,QSP 在不改变原单元形状的基础上做调整,能较好地保护原单元的形态及使用功能,而 QAP 将各个板块划分为形状相同的单元,较 QSP 排布更为灵活。QAP 与 QSP 在计算中大量运用线性公式,Elias Munapo<sup>[7]</sup>不断探索有效降低线性公式中约束变量的方法,但由于医院门诊环境中的信息繁琐、行为复杂、目标多样等,模型精准度受到限制。且随着纳入单元的数量增多,工作量也随之提升。此外,该方法对原布局有较强的依赖性。

## 2.2 混合线性整数规划问题

混合线性整数规划是 Montreuil 基于 QAP 的理论延伸的,脱离以往对工厂布局的静态研究,着眼于物料流动。提出根据工厂的布局设施以及物流网络设计生成网络布局的方式,在研究中提到几种网络模型,以应对不同的情况。首次提出混合整数规划(Mixed Integer Programings, MIP),用以限制公式中部分决策变量必须为整数<sup>[8]</sup>。

MIP 在工业界已经引起了学者的广泛关注,但由

于 MIP 计算过程中约束条件繁杂,目前该方法应用于优化医院布局的研究较少。Che A 等<sup>[9]</sup>将单元面积、数量、部门之间的联系纳入考虑范围,提出双目标的规划模型。陆云枫<sup>[10]</sup>通过利用 MIP 模型启发式模型计算医院运营的最小化成本,给出了医护人员在双向转诊中如何配置的较优方法,从而有效降低医院就诊压力。Anjos 和 Vieira<sup>[11]</sup>对设施布局中存在的线性整数规划中 np-hard(NP 难问题)问题进行综合分析展望。

随着科技的智能发展,为探索面积设施布局的较优解,衍生出一系列计算机算法:蚁群算法、岛屿模型算法、禁忌搜索、遗传算法等。虽然计算机在短时间内对大量复杂问题进行求解,但 MIP 算法本身约束较多,且存在随着变量增多计算难度增大的局限性。精确类 MIP 方法中对部门数量、形状都有一定限制,现实中很难满足该条件。随着对研究的进一步深入,进一步衍生出的 MIP 启发式算法较精确类算法能解决更多问题,但求解时容易陷入局部僵局。

## 2.3 基于图论

基于图论的启发式是系统布局规划研究中较为简单的一类,它将布局中的各个设施视为一组顶点,而设施中的相互关系视为边。用邻接矩阵来表示图中顶点之间的相互关系,边的权重根据研究目的进行赋值,从而寻找较优解。

基于图论的最初模型是由 Foulds 提出的,其在研究中表示,首先通过确定各个边权重之和来寻找权重最佳图,然后逐个插入剩余的顶点并计算各个点插入时的效益,来选择相对最优布局<sup>[12]</sup>。该方法较简单,虽可以考虑不同图解综合权重之和,但在操作过程中并未将权重较差的边去除,可能进一步影响整体布局。且该法在操作中插入的图形状有限,使研究结果具有一定的局限性。

Lather 等<sup>[13]</sup>提出启发式图论的方法,对医院部门进行重新布局。在邻接矩阵的基础上,对边进行赋值,定义每对相邻空间的值,根据两科室之间位置关系相邻的不同程度等级来取不同值,计算总接近度评级(total closeness rating, TCR)。计算各单元权重布局得分及总权重,选取拥有较大权重的布局优化方案,再通过专家评估来选取较优解。通过计算比较改进前后布局的得分,将定性问题量化处理,通过前后分值对比使布局优化更有说服力。

该方法局限在通过对 AEIOUX 来计算 TCR 分值结果时<sup>[14]</sup>,各个单元之间的相互关系程度需要由决策者评估,使得不同单元 TCR 得分取值不可避免具有一定程度的主观性。为最小程度减少主观性带来的误差,不仅需要咨询不同领域的专家对 TCR 进行综合评

分外,还需要采用盲法对布局优化前后评价,一定程度减少主观误差。

Boonmee等<sup>[15]</sup>在门诊布局优化的基础上增加了仿真模拟,将不同时间段患者的到达率、就诊率纳入仿真模型中,以更好地测试布局优化的性能,使优化结果更有说服力。Arnolds和Gartner<sup>[16]</sup>通过研究发现,在布局优化的考虑因素中纳入临床路径,能一定程度减少患者的寻路损耗,进一步提高患者的诊疗效率。

综上所述,图论方法较QAP、QSP及MIP方法更易理解和操作,图论法将权重大的单元紧密排列,该方法虽然在一定程度上减少了患者的寻路损耗,但相关科室之间排列过于密集,易在就诊高峰期造成滞留,给院内秩序带来一定影响。因此在考虑科室相关行为的同时,对客流量大的特殊区域可以利用医院信息系统检测,实时观测人流量动态,对异常数据发出流量预警信号,以便及时采取引流患者、增加相关医疗资源等有效措施。此外,图论是基于无序图对各边赋值,不能将信息的流动性完整表达,可以选用具有方向性的有向图,综合考虑各科室之间的信息流动及流向问题。

### 3 讨论

#### 3.1 将空间特性融入SLP方法

SLP方法中将三维立体模型转化为平面图形,以单元之间直线距离为最短计算距离,方法虽简便易操作,但容易忽略建筑空间原本的特性。研究表明,在考虑不同地形地貌的基础上,单元间最短路径并非SLP方法中一贯采用的两点间直线距离,而是测地线,可在SLP方法中将测地线纳入计算。

#### 3.2 优化SLP方法,适应门诊布局的发展要求

部分医院门诊已形成以医技单元为中心的不同单元组团模式,同一单元组内的信息通过医技单元交汇,却又保持各自的作用<sup>[17]</sup>。在传统SLP布局优化中将共享单元纳入其中,以共享单元为中心的单元组团模式促进就诊患者尽可能在组团单元范围内流动,减少不必要的寻路损耗,促进患者有序就诊。为缓解门诊楼内公共通道的拥堵情况,也可将各个科室采用独立尽端式排布,且考虑将一次就诊与二次就诊的患者通道口分开,以便有序就诊。

#### 3.3 将SLP布局调整方法与智慧化相结合

科技的进步使智能的门诊服务越来越普及,将SLP布局优化与高科技相融合,科室空间环境可以根据患者数量差异、群体差异进行智能调整,按需满足不同的使用功能,使有限的空间环境拥有更强的灵活性,更加贴合患者的就诊需求、特性等。仿真技术的进步可以实现布局优化前后的模拟对比,可对布局优化后

的性能做评估,以便有针对性地解决可能产生的实际问题。

#### 3.4 以患者为中心进一步优化布局

在优化的基础上纳入患者视角,通过患者体验量表进行专业工具标准测评,了解患者的诊疗感受及需求、患者在医疗就诊过程中遇到的实际问题,以患者为中心,进一步提高患者诊疗体验感<sup>[18]</sup>。除此之外,应该着眼于患者就诊过程中的流动路线,将患者的寻路时间与长短作为指标之一<sup>[19]</sup>,而非局限于某个单元。考虑不同科室间的特殊要求、不同群体间的差异进一步调整,以更好地服务使用者。

随着研究人员对相关领域认识的逐渐深入,医院布局的研究也从定性发展为定量、由单纯理论知识到与实际经验相结合、逐渐将更多指标纳入到研究方法中,医院运营也可以通过计算机、大数据、数学信息建模等高科技模拟。

对门诊区来讲,不仅需要满足医疗本身功能,还要充分考虑相关科室间排列的紧密程度、如何提高有限空间内的效率服务、以患者为中心等方面。除此以外,如何在高峰时段有效疏导患者、如何在符合医院发展目标的基础上完善门诊区域优化,都不断给现代医院设计与建设带来新的挑战与机遇,同时也提供了新的研究方向。

### 参 考 文 献

- [1] 高行,王珊,王进,等.基于使用者行为心理需求的门诊楼公共空间设计[J].建筑学报,2012(S2):201-204.
- [2] 陈付佳,王冰冰.疫情防控常态化下基于患者需求的大型医院门诊公共空间优化策略[J].中国医院建筑与装备,2021,22(9):45-52.
- [3] Anon.Assignment problems and the location of economic activities[J].Econometrica,1957,25(1):53-76.
- [4] Elshafei AN.Hospital layout as a quadratic assignment problem[J].Oper Res Q(1970-1977),1977,28(1):167-179.
- [5] Rismanchian F, Lee YH.Process mining-based method of designing and optimizing the layouts of emergency departments in hospitals[J].HERD-Health Env Res,2017,10(4):105-120.
- [6] Paes FG, Pessoa AA, Vidal T.A hybrid genetic algorithm with decomposition phases for the unequal area facility layout problem[J].Eur J Oper Res,2017,256(3):742-756.
- [7] Munapo E.Development of a method to linearize the quadratic assignment problem[J].Eastern-Eur J Ent Tech,2021,2(4):54-61.
- [8] Montreuil B.A modelling framework for integrating layout design and flow network design[M].Berlin:Heidelberg Springer-Verlag,1991:95-115.
- [9] Che A, Zhang Y, Feng J.Bi-objective optimization for multi-floor facility layout problem with fixed inner configuration and room adjacency constraints[J].Comput & Ind Eng,2017,105:265-276.