

人工智能与中医药前沿研究专栏

DOI: 10.16305/j.1007-1334.2026.z20250917004

基于模糊认知图的慢性心力衰竭中医核心病机
量化研究姬新珂¹, 赵芸^{2*}, 张雪芹², 李平¹, 文天才²

1. 北京中医药大学第三附属医院心内科(北京 100029); 2. 中国中医科学院中医药数据中心(北京 100700)

【摘要】 目的 针对慢性心力衰竭(CHF)中医病机复杂、演变规律难以量化分析的问题,引入模糊认知图(FCM)建模方法,构建多层次、可量化的病机拓扑网络,系统揭示本病的核心病机、分型差异及演变规律。方法 以《慢性心力衰竭中医诊疗指南(2022年)》为数据源,通过本体建模抽取79个实体节点(涵盖疾病、分型、病机、症状等),采用专家小组打分法结合文献证据构建FCM模型。利用Gephi软件进行网络可视化与多维分析。结果 ①模型量化显示,气虚为CHF始发病机,气虚与血瘀强关联[0.97(数据表示权重,下同)],二者共同构成CHF“气虚血瘀”的核心病机框架。②血瘀的中介中心度最高,是连接虚实病机的关键枢纽,血瘀与痰湿相关揭示CHF病机“痰瘀同病”的特征。③分型差异分析表明,射血分数保留的心力衰竭(HFpEF)呈现“气虚(0.70)为基、血瘀(0.72)为枢”的病机特征,射血分数降低的心力衰竭(HFrEF)则呈现“血瘀(0.67)、水饮(0.56)标实亢进”的病机特征。④纽约心脏病协会(NYHA)心功能分级差异分析揭示了病机随疾病进展的演变链:Ⅰ级以气虚(0.64)为本,血瘀(0.73)为标;Ⅱ级气虚(0.78)、血瘀(0.77)加重,阴虚(0.28)略显;Ⅲ级为转折期,气虚(0.80)、血瘀(0.81)达到高峰,水饮(0.35)骤升;Ⅳ级水饮(0.58)壅盛与阳虚(0.30)凸显。病机整体呈现“气虚→血瘀→水饮→阳虚”的传变规律。结论 通过构建CHF中医病机的FCM拓扑网络,首次实现了“分型-分级-证素-证候-症状”多维关系的系统化与可视化分析,明确了“气虚血瘀”作为CHF核心病机的网络枢纽地位,揭示了CHF分型、分级的病机差异及演变规律。该方法突破了传统病机研究在量化与可视化方面的局限,为中医病机研究提供了新的分析范式。

【关键词】 慢性心力衰竭;模糊认知图;人工智能;知识图谱;中医病机

Quantitative study on core pathogenesis of chronic heart failure in traditional Chinese medicine based on fuzzy cognitive maps

Ji Xinke¹, Zhao Yun^{2*}, Zhang Xueqin², Li Ping¹, Wen Tiancai²

1. Department of Cardiology, Beijing University of Chinese Medicine Third Affiliated Hospital, Beijing 100029, China; 2. National Data Center of Traditional Chinese Medicine, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China

Abstract: Objective To address the problems of complex pathogenesis and difficult quantitative analysis of transmission rules of chronic heart failure (CHF) in traditional Chinese medicine (TCM), this paper introduced the fuzzy cognitive map (FCM) modeling method to

construct a multi-level, quantifiable pathogenesis topological network, and systematically reveal the core pathogenesis, pattern classification differences and transmission rules of the CHF.

Methods Taking the *Chinese Medicine Diagnosis and Treatment Guidelines for Chronic Heart Failure (2022)* as the data source, 79 entity nodes (covering diseases, classifications, pathogenesis, and symptoms) were extracted through ontology modeling, and the FCM model was constructed by combining the expert panel scoring method with literature evidence. Gephi

[基金项目] 国家自然科学基金项目(82374624);北京市自然科学基金面上项目(7232306);中国中医科学院中医药数据中心自主选择项目(ZZ1718-XRZ-110-SJ);中国中医科学院新入职科研人员启动资金专项(ZZ16-XRZ-098)

[作者简介] 姬新珂,女,博士研究生,主要从事中医药防治心血管疾病研究工作。*赵芸为共同第一作者

[通信作者] 文天才,高级工程师;E-mail:wtsnake@163.com

software was used for network visualization and multi-dimensional analysis. **Results** ①Quantitative analysis of the model showed that qi deficiency was the initial pathogenesis of CHF, and strongly correlated with blood stasis (weight=0.97, the same applied below), which constituted the core framework of "qi deficiency and blood stasis" in CHF. ②Blood stasis had the highest betweenness centrality and was the key pivot connecting deficient and excessive pathogenesis. The strong correlation between blood stasis and phlegm revealed the characteristic of "concomitant phlegm and blood stasis" in the CHF pathogenesis. ③Analysis of pattern classification differences demonstrated that heart failure with preserved ejection fraction (HFpEF) presented the pathogenesis characteristics of "qi deficiency (0.70) as the foundation and blood stasis (0.72) as the pivot", while heart failure with reduced ejection fraction (HFrEF) presented the characteristics of "hyperactivity of excessive symptoms of blood stasis (0.67) and water retention (0.56)". ④Analysis of differences in New York Heart Association (NYHA) functional classification revealed the transmission chain of pathogenesis with disease progression: Grade I was characterized by qi deficiency (0.64) as the root cause and blood stasis (0.73) as the manifestation; Grade II showed aggravated qi deficiency (0.78) and blood stasis (0.77) with mild yin deficiency (0.28); Grade III was a turning point, with qi deficiency (0.80) and blood stasis (0.81) reaching a peak and a sudden rise in water retention (0.35); and Grade IV was marked by excessive water retention (0.58) and prominent yang deficiency (0.30). Overall, the pathogenesis presented the transmission rule of "qi deficiency → blood stasis → fluid retention → yang deficiency". **Conclusions** By constructing an FCM-based topological network for TCM pathogenesis in CHF, this paper for the first time achieved systematic quantification and visual analysis of the multidimensional relationships of "classification-grading-syndrome element-syndrome-symptom", clarified the network pivot status of "qi deficiency and blood stasis" as the core pathogenesis of CHF, and revealed the pathogenesis differences and transmission rules of CHF across different classifications and grades. This method breaks through the limitations of traditional pathogenesis research in quantification and visualization, and provides a new analytical paradigm for TCM pathogenesis research.

Keywords: chronic heart failure; fuzzy cognitive map; artificial intelligence; knowledge graph; traditional Chinese medicine pathogenesis

慢性心力衰竭(chronic heart failure, CHF)病程长,病死率和再住院率居高不下,严重影响患者的生存质量,已成为全球公共卫生领域的重要挑战^[1]。《中国心血管健康与疾病报告 2023 概要》^[2]数据显示,我国心力衰竭患者人数已达 890 万,伴随人口老龄化进程的加快,发病率呈持续上升趋势。尽管西医治疗在延缓心室重塑、改善血流动力学方面已取得突破性进展^[3-4],但临床实践仍面临利尿剂抵抗^[5]、依从性差、长期用药经济负担重等现实困境。中医药以其多靶点、整体辨证的治疗特色,临床优势日益凸显。中医药发挥疗效的关键在于根据患者症状、体征识别疾病背后的病机,并据此确定治法方药。

当前关于 CHF 中医病机的研究主要有文献研究、临床研究和实验研究。文献研究通过系统梳理古代中医典籍和现代文献,总结历代医家对 CHF 相关病症的认识和论述,归纳病机理论^[6-7]。临床研究则通过收集患者的症状、体征、辅助检查等临床资料,使用相关性分析等方法,归纳不同证型的分布规律和特点,从证型分布探索疾病病机^[8]。实验研究则运用现代实验技术,模拟 CHF 的病理模型,研究中药复方或单味药对模型动物的作用机制,探讨中药干预 CHF 的物质基础和作用靶点,进而揭示中药调节 CHF 病机的科学内涵^[9]。然而,文献研究存

在古籍记载分散,部分文献晦涩难懂及辨证缺失标准等问题;临床研究多为横断面研究,样本量较少,研究周期较短,证型划分存在差异,难以反映疾病病机演变规律;实验研究中检测指标多集中在心脏功能、血流动力学、细胞因子等方面,对中医病机相关的指标研究较少。数据挖掘技术在中医临床和文献研究中的应用日益广泛,多侧重于对数据的统计分析和关联规则挖掘,通过对大量 CHF 患者的临床数据进行分析,挖掘症状、体征、辨证分型、用药规律等之间的关联^[10],但往往缺乏对病机本质的深入探讨,难以将数据挖掘结果与中医理论有机结合。

模糊认知图(fuzzy cognitive map, FCM)是一种基于认知科学的系统建模方法,通过整合领域专家知识,能够实现复杂系统的可视化推理与决策^[11]。其模糊逻辑架构与中医诊疗思维具有显著适配性:首先,通过 $[0, 1]$ 区间隶属度函数可有效量化表达四诊信息的模糊属性;其次,运用正负权重的连接边直观体现各节点间的促进或抑制关系^[12],且支持基于专家经验的半监督学习机制,提升模型的可解释性^[13]。近年来,FCM 在疾病预测与诊断,以及个性化干预策略设计方面展现出了较大的潜力^[14],已广泛应用于糖尿病^[15]、中风^[16]、癌症^[17]、抑郁症^[18]、登革热并发症^[19]等疾病的预测与诊疗,表现出较高

的准确性和稳定性。FCM 独特的建模优势为中医药复杂诊疗体系的研究提供了新的解决方案。中华中医药学会发布的《慢性心力衰竭中医诊疗指南(2022 年)》^[20]系统整合了中医药治疗 CHF 的临床研究证据及专家经验,包含了四诊信息、证候、治法方药等关键诊疗知识,构建了 CHF 标准化诊疗框架。本研究试将中医 CHF 病机信息引入 FCM 建模,以《慢性心力衰竭中医诊疗指南(2022 年)》为数据源,提取关键知识节点,以专家经验为核心,构建节点因果关系权重矩阵,以节点和加权边精准刻画分型、症状、证候、病机之间的非线性关系,实现 CHF 中医病机的可视化表达,通过量化分析揭示病机网络的内在结构与动态关联。

1 材料与方法

1.1 数据来源 本研究数据来源于中华中医药学会慢性心力衰竭中医诊疗指南项目组发布的《慢性心力衰竭中医诊疗指南(2022 年)》^[20]。

1.2 FCM 的构建 参考知识图谱构建七步法^[21]构建本体层,定义实体、关系和属性。通过知识抽取、知识融合实现数据的结构化和标准化。将抽取到的实体作为 FCM 构建的概念节点,结合专家经验,明确各类概念节点之间的语义关系。将《慢性心力衰竭中医诊疗指南(2022 年)》中的数据整理为研究所需要的“概念节点-关系-概念节点”形式的三元组数据,然后通过专家赋值法和文献检索法确定节点因果关系及权重,构建包含正向促进(权重>0)和负向抑制(权重<0)的因果关系矩阵。利用 Gephi 软件对 FCM 进行可视化表达,实现中医诊疗知识的可视化及概念节点检索查看。具体流程见图 1。

1.2.1 本体层构建 根据 FAIR 准则^[22],参考知识图谱构建七步法,通过复用中医药学语言系统(TCMLS)的语义框架与术语体系,确立本体顶层结构。根据本体结构特征进行本体的提取,包括“疾病”“病机”“分型”“证候”“症状”“分级”等知识节点。其中“分型”节点涵盖射血分数降低的心力衰竭(HFrEF)、射血分数保留的心力衰竭(HFpEF)、射血分数中间值的心力衰竭(HFmrEF)3 类。鉴于《慢性心力衰竭中医诊疗指南(2022 年)》中仅对 HFrEF、HFpEF 提供明确辨证论治推荐意见, HFmrEF 相关诊疗证据尚不充分,故本研究重点分析 HFrEF、HFpEF 的病机特征, HFmrEF 暂不纳入核心分析范畴,仅在本体结构中保留节点以确保完整性。通过语义建模定义对象属性(如“表现为”“辨

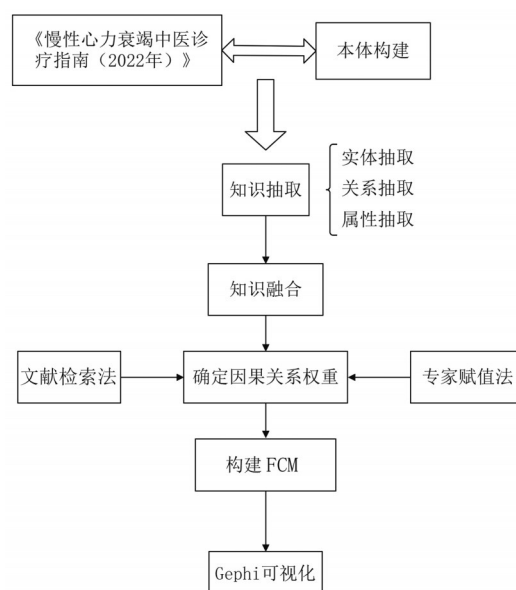


图1 模糊认知图(FCM)构建流程

证为”“组成”)刻画实体间逻辑关联。此外,模型中包含“涵盖”“组成”等结构性关系以完整表达知识体系,但在后续病机网络的因果推理分析中,我们聚焦于“导致”“加重”“表现为”“辨证为”等具有明确因果或临床推断指向的关系。

1.2.2 知识抽取 本研究数据源具备高度专业性特征,由两位中医心血管内科学专业研究生进行背对背人工标注,完成实体、关系和属性抽取。

1.2.3 知识融合 参照《中医临床常见症状术语规范》^[23]以及《GB/T 16751.2—2021 中医临床诊疗术语 第2部分:证候》^[24]对症状和证候进行统一规范,完成知识对齐和知识消歧。

1.2.4 模糊权重赋值 使用三元组模型描述指南抽取出来的知识与知识之间的关系,表示为“实体-关系-实体”的主谓宾结构。邀请领域专家对三元组进行抽样检查,保证数据准确性。由于《慢性心力衰竭中医诊疗指南(2022 年)》缺乏概念之间的定量关系,因此本研究采用专家赋值法与文献检索法相结合的方式构建节点关系权重矩阵,其中专家赋值法是确定权重的主要方法^[25]。本研究中的专家小组由5位成员组成,包括3位具有10年以上临床经验的中医心血管内科主任医师/副主任医师,以及2位从事中医药数据挖掘与知识研究的高级工程师。检索CHF中医临床研究、横断面调查及流行病学研究文献,提取其中报告的可量化的统计指标(相关系数、频次比例),以此作为专家权重打分的参考基准,如某项研究中显示“CHF”与“畏寒”的相

关系数为 0.922^[26], 直接将 0.92 设置为“CHF”节点指向“畏寒”节点的关系权重参考。专家小组以文献权重为参考, 采用德尔菲法对三元组关系在 $[-1, 1]$ 区间内进行赋值。为评估专家意见的共识程度, 计算每条因果关系的均值、标准差及变异系数。标准差 <0.1 且变异系数 $<30\%$ 的关系被视为达成良好共识, 可直接纳入最终模型。对分歧较大的关系(变异系数 $\geq 30\%$), 则进行多轮讨论直至达成共识。最后计算所有三元组关系的赋值权重平均值作为因果关系的最终权重。

1.2.5 FCM 可视化 将三元组数据导入 Gephi 软件进行 FCM 的可视化展示, 用圆点表示不同概念节点, 不同类型概念节点颜色各异, 根据节点度值设置节点大小, 节点度值越高则节点越大。有向箭头连接节点用于描述概念节点之间的因果关系, 箭头粗细表示因果关系权重大小, 箭头越粗表示关联性越强。

1.3 基于 FCM 的 CHF 病机挖掘

1.3.1 证素网络的反馈机制挖掘 使用 Gephi 软件中的筛选功能, 筛选出证素子网络。利用 FCM 表达双向因果关系的能力, 系统识别证素网络中的正反馈回路(如“气虚 $\leftrightarrow$ 血瘀”双向强化环路)。由专家小组对这些双向强化环路进行研判与阐释, 确保其临床合理性与病机解释的专业性。

1.3.2 多维映射关系的量化解析 提取 FCM 中“疾病 $\rightarrow$ 症状体征”“疾病 $\rightarrow$ 证素”子网络, 以 0.6 为阈值筛选 CHF 的核心症状群及关键证素。通过“证素 $\leftrightarrow$ 症状体征”双向权重网络量化单个症状对证素辨证的贡献度, 实现从症状到病机的推理归属, 分析各证素的特征性症状组合, 实现症状与证素之间的关联量化与交叉验证。

1.3.3 分型病机差异分析 针对 HFrEF 与 HFpEF 两种核心分型, 采用子网络提取与权重对比分析, 挖掘二者病机特征差异。提取“分型 $\rightarrow$ 主证”“分型 $\rightarrow$ 证素”“主证 $\rightarrow$ 证素”“分型主证 $\rightarrow$ 兼证”子网络, 比较两种分型下各主证的权重, 以及各证素、兼证的关联强度, 明确不同分型在证素及兼证类型上的组合模式与倾向性差异。

1.3.4 分级病机差异分析 提取纽约心脏病协会(NYHA)心功能分级 I 级、II 级、III 级、IV 级节点与各证素节点之间的因果关系网络, 分析每个证素随分级变化的权重变化, 明确病机变化趋势及转折节点。

2 结果

2.1 《慢性心力衰竭中医诊疗指南(2022 年)》本体及实体 本研究构建了包含疾病、分型、NYHA 心功能分级、病机、证素、症状体征和证候 7 个顶层本体类别(一级本体)和 5 个子类别(二级本体)及 11 种语义关系的多维度本体架构, 本体设计中引入分型主证(HFrEF/HFpEF+主证)实体, 见表 1、表 2。通过双人背对背提取和领域专家审核, 从《慢性心力衰竭中医诊疗指南(2022 年)》文本中精准抽取 79 个实体节点, 采用“实体-关系-实体”三元组形式构建 380 条因果关系边。

表 1 本体层级结构

一级本体	二级本体	实例
疾病	—	CHF
病机	—	本虚, 标实
证素	—	气虚, 血瘀, 水饮等
分型	—	HFrEF, HFmrEF, HFpEF
NYHA 心功能分级	—	I 级, II 级, III 级, IV 级
证候	主证	气虚血瘀证, 气阴两虚血瘀证, 阳气亏虚血瘀证
	兼证	水饮证, 痰饮化热证, 痰浊证
	分型主证	HFrEF 气虚血瘀证, HFrEF 气阴两虚血瘀证, HFrEF 阳气亏虚血瘀证等
	症状	气短, 喘息, 乏力等
症状体征	舌象	剥苔, 少苔, 舌暗等
	脉象	脉沉, 脉迟无力, 脉滑等

注: CHF 为慢性心力衰竭, HFmrEF 为射血分数中间值的心力衰竭, HFrEF 为射血分数降低的心力衰竭, HFpEF 为射血分数保留的心力衰竭, NYHA 为纽约心脏病协会。“—”表示无此项内容。

2.2 FCM 可视化展示 使用 Gephi 软件对构建的 FCM 进行可视化展示, 通过有向箭头和线条粗细直观呈现节点之间的因果关系及权重(图 2)。模型采用 Fruchterman Reingold 布局算法实现网络拓扑优化。其中“症状体征”类节点占比数量最高(64.55%), 语义关系中“表现为”(频次=201)和“辨证为”(频次=79)构成主要关系类型。

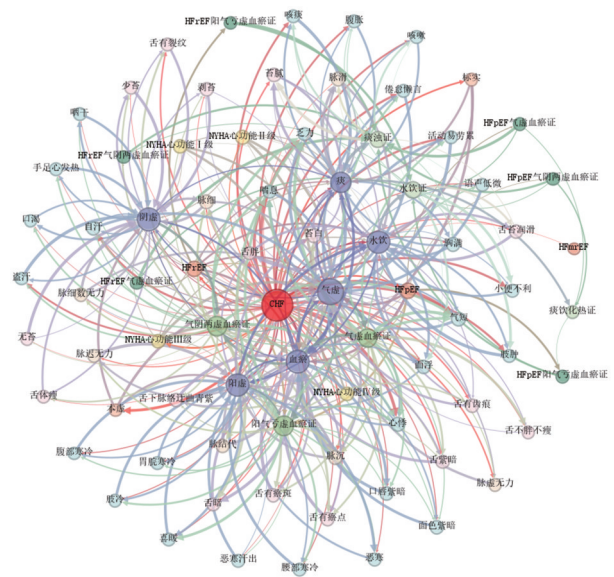
2.3 基于 FCM 的 CHF 病机挖掘情况

2.3.1 基于单一证素的病机分析 FCM 拓扑分析显示, “气虚”节点与其他证素节点呈现全域性关联, 表明“气虚”是 CHF 发病的始发病机。“气虚”与“血瘀”的因果权重高达 0.97, 印证了“气虚血瘀证”是 CHF 的基础证候。“血瘀”节点在证素网络中的中介中心度最高, 表明血瘀不仅是标实核心, 更是连

表2 概念类型及实体对应关系

概念类型	实体	关系	概念类型	实体
疾病	CHF	表现为	症状体征	喘息
	CHF	病机是	病机	本虚
	CHF	证素是	证素	气虚
	CHF	分级是	NYHA 心功能分级	NYHA 心功能 I 级
	CHF	分型是	分型	HFrEF
病机	本虚	涵盖	证素	气虚
	气虚	导致	证素	血瘀
证素	血瘀	加重	证素	气虚
	气虚	组成	证候	气虚血瘀证
分型主证	HFrEF 气虚血瘀证	相兼	兼证	痰浊证
症状体征	乏力	辨证为	证素	气虚

注:CHF为慢性心力衰竭, NYHA为纽约心脏病协会, HFrEF为射血分数降低的心力衰竭。

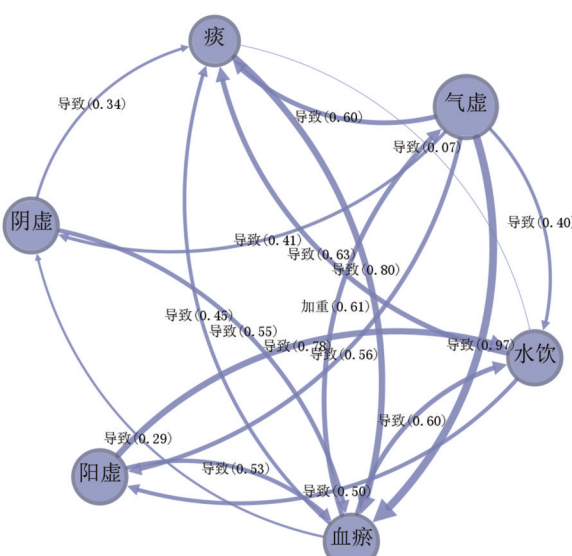


注:CHF为慢性心力衰竭,FCM为模糊认知图,HFrEF为射血分数降低的心力衰竭,HFrEF为射血分数中间值的心力衰竭,HFrEF为射血分数保留的心力衰竭,NYHA为纽约心脏病协会。中医诊疗指南指《慢性心力衰竭中医诊疗指南(2022年)》。

图2 CHF中医诊疗指南FCM

接虚性证素的枢纽证素,反映了CHF“因虚致瘀”的病机演变规律,也与“血瘀贯穿心力衰竭全程”的经典理论相契合。此外,“痰”与“血瘀”的强相关性(0.80)提示了CHF“痰瘀同病”的病机特点。进一步研究显示,“气虚↔血瘀”“阳虚↔水饮”“痰↔血瘀”三组节点之间均存在双向正反馈机制,凸显CHF“本虚标实,虚实夹杂”的病机本质。见图3。

2.3.2 基于多维映射关系的病机网络分析 通过“疾病→症状体征”(语义关系:“表现为”)映射关系



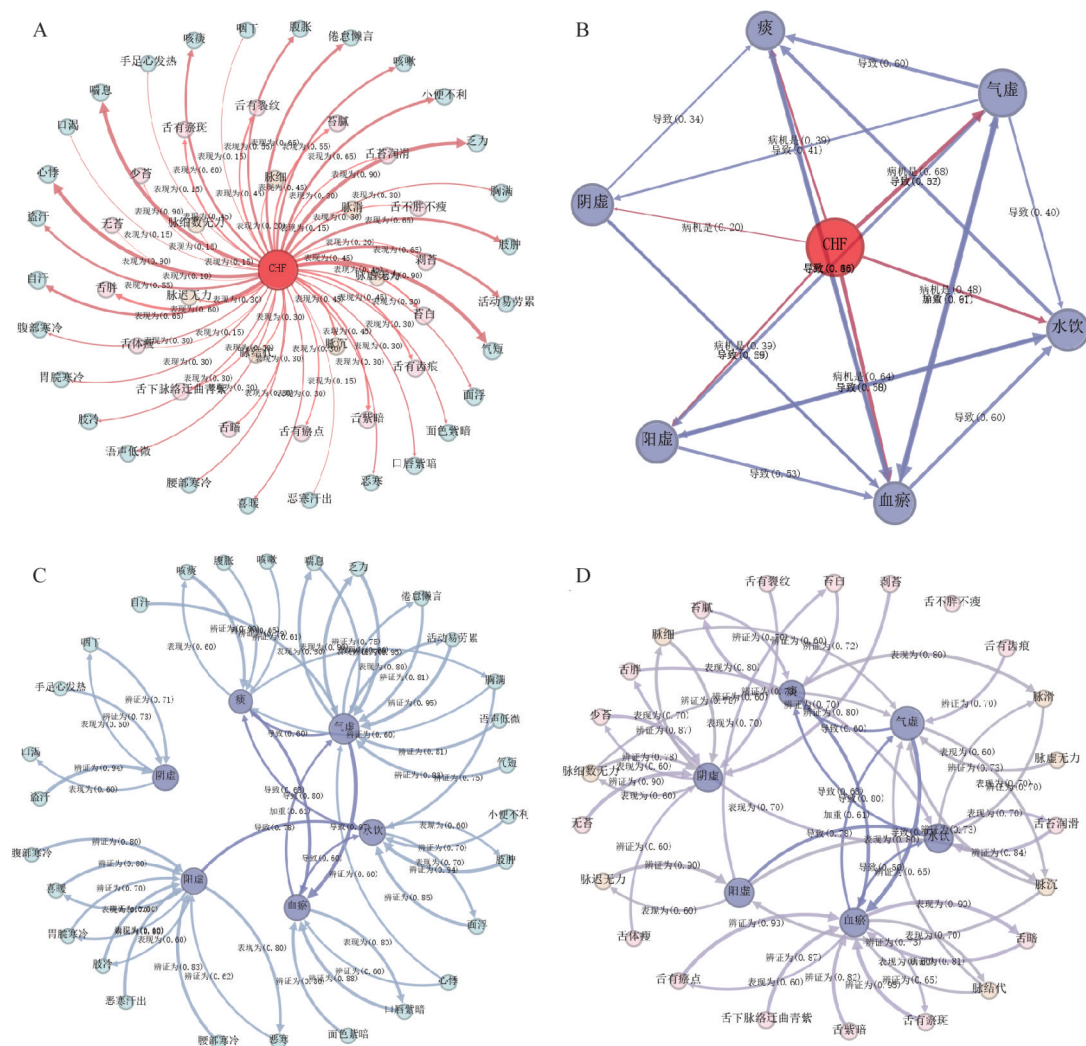
注:CHF为慢性心力衰竭,FCM为模糊认知图。数据表示权重。

图3 CHF单一证素的FCM

确立CHF核心症状群为喘息、乏力、气短、心悸、活动后易劳累、倦怠懒言、小便不利、肢肿、自汗、舌胖、咳痰(权重 ≥ 0.6)。“疾病→证素”关联揭示了CHF病机气虚(0.68)为本、血瘀(0.64)为标的核心框架,阴虚(0.56)、阳虚(0.39)、水饮(0.48)次之,痰(0.07)最弱。通过“症状体征→证素”(语义关系:“辨证为”)和“证素→症状体征”(语义关系:“表现为”)的双向权重深入分析发现,乏力(0.95)、活动后易劳累(0.95)、气短(0.83)、倦怠懒言(0.81)、自汗(0.79)、喘息(0.75)、心悸(0.60)属于气虚症状群;心悸(0.60)为血瘀的重要症状表现;肢肿(0.94)、小便不利(0.70)、舌胖(0.70)是水饮的核心症状;咳痰(0.90)与痰强相关。见图4。

在CHF诊疗中,心脉瘀阻所致的心悸是临床常见表现,尽管其特异性不如典型血瘀症状(如:舌紫暗、舌有瘀斑),但本模型结果反映了其在CHF血瘀辨证中的参考价值。

2.3.3 CHF分型病机差异网络 聚焦于HFrEF和HFpEF分型的病机网络研究表明,HFrEF辨证为阳气亏虚血瘀证权重最高(0.60),而气虚血瘀证和气阴两虚血瘀证权重较低(0.25和0.15)。HFrEF中,阳气亏虚血瘀证权重也较高(0.56),但气虚血瘀证和气阴两虚血瘀证权重较HFpEF略高(0.28和0.16)。“分型→证素”关联显示HFpEF呈现气虚(0.70)为基、血瘀(0.72)为枢的主导模式,水饮(0.37)和痰(0.36)权重中等;HFrEF则呈现血瘀(0.67)、水饮(0.56)标实亢进,气虚(0.54)和阳虚



注:CHF为慢性心力衰竭。A、B、C、D分别表示疾病→症状体征、疾病→证素、证素→症状体征、证素→舌象脉象的映射关系。数据表示权重。

图4 CHF病机多维映射关系关联网络

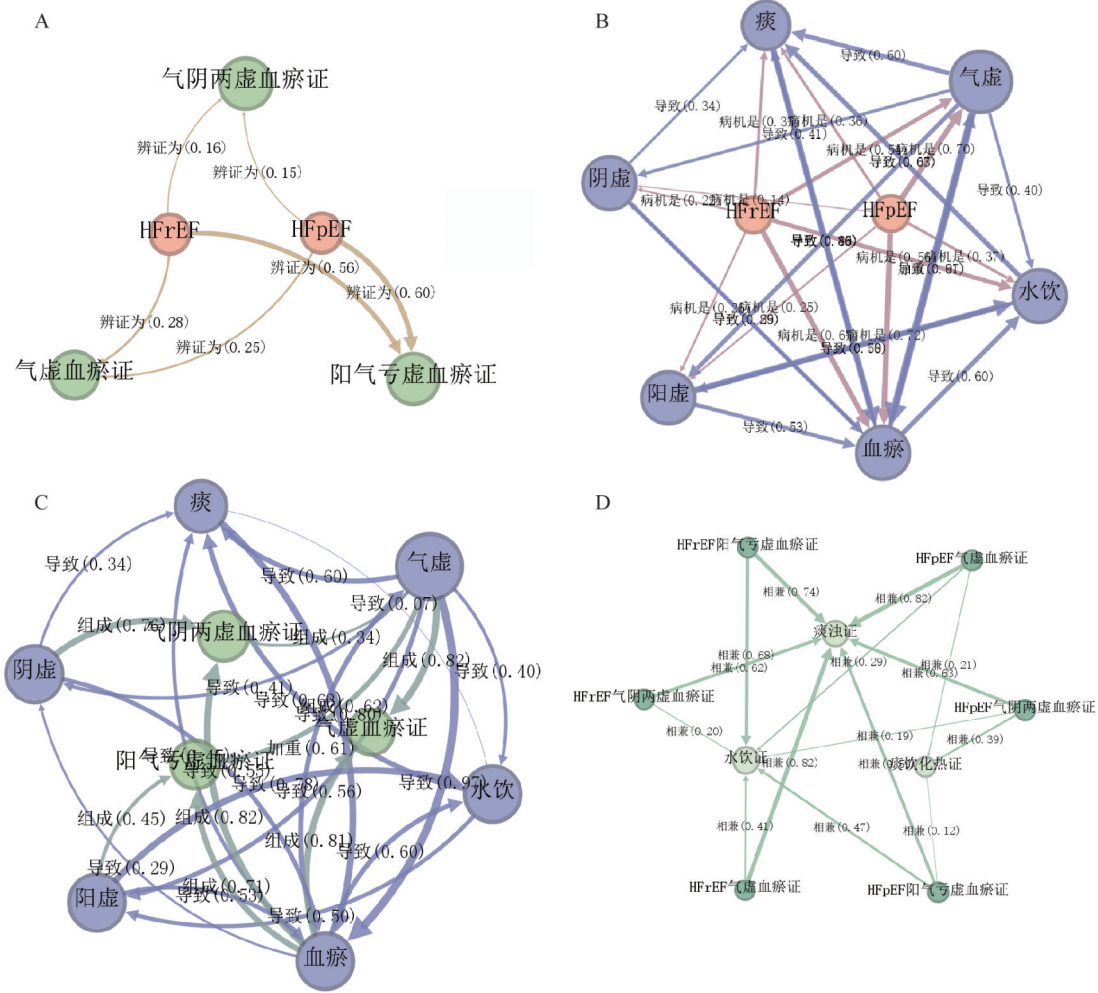
(0.26)为本虚基础的特征。“证素→证候”的组成关系强化了FCM的因果链,即气虚证素对气虚血瘀证影响最强(0.82),其次是阳气亏虚血瘀证(0.62),而血瘀贯通三大主证(0.71~0.82)的特征则印证了“瘀血贯穿心力衰竭全程”的理论。在兼证层面,HFrEF和HFpEF共现痰瘀互结特性[痰浊证与各主证相兼权重较高,HFrEF气虚血瘀证→痰浊证(0.82)、HFrEF气虚血瘀证→痰浊证(0.82)],此外,HFrEF多兼水饮证[HFrEF阳气亏虚血瘀证→水饮证(0.68)、HFrEF气虚血瘀证→水饮证(0.74)],HFpEF则更易兼有痰饮化热证[HFpEF气阴两虚血瘀证→痰饮化热证(0.39)]。见图5。

2.3.4 基于NYHA心功能分级的病机分析 NYHA心功能Ⅰ~Ⅳ级均与气虚、血瘀强相关。气虚为全程核心病机(Ⅰ级0.64、Ⅱ级0.78、Ⅲ级0.80、Ⅳ级

0.79),奠定病理基础;血瘀持续显著(Ⅰ级0.73、Ⅱ级0.77、Ⅲ级0.81、Ⅳ级0.75),提示血脉瘀阻随心功能恶化而渐重。疾病初起(Ⅰ级)以气虚(0.64)为本,血瘀(0.73)为标,水饮(0.09)、阳虚(0.09)尚微;至Ⅱ级,气虚(0.78)、血瘀(0.77)加重,阴虚(0.28)略显;Ⅲ级为病机转折,气虚(0.80)、血瘀(0.81)达到高峰,水饮(0.35)加重成为第三病理要素,痰浊(0.30)显现,此期阳虚(0.21)与阴虚(0.21)并存;终末(Ⅳ级)形成气虚(0.79)为本,血瘀(0.75)为标,水饮(0.58)壅盛的核心病机框架,阳虚(0.30)凸显。见图6。

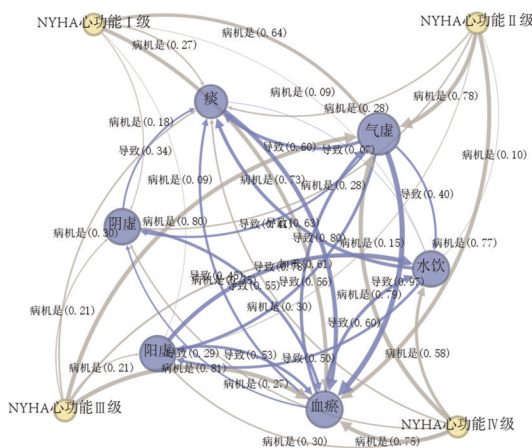
3 讨论

FCM作为一种可支持医疗决策的人工智能建模方法,能够通过模拟专家的决策过程,构建变量之间的因果关系网络,使其能够表达复杂系统中变



注:CHF为慢性心力衰竭,FCM为模糊认知图,HFrEF为射血分数降低的心力衰竭,HFpEF为射血分数保留的心力衰竭。A、B、C、D分别表示分型→主证、分型→证素、证素→主证、分型主证→兼证的关联网络。数据表示权重。

图5 基于FCM的CHF分型病机与证候差异关联网络



注:CHF为慢性心力衰竭,FCM为模糊认知图,NYHA为纽约心脏病协会。数据表示权重。

图6 CHF心功能分级→证素FCM

量之间的模糊性和主观性。这些特性与中医诊疗CHF过程中面临的“病机动态演变复杂”“证候要素

交织”“虚实标本转化”等核心挑战高度契合。本研究将FCM引入CHF中医病机研究领域,构建了首个从分型、分级、证素、证候、症状等多维度进行系统量化的网络拓扑模型,所采用的“指南主干-文献佐证-专家补足”三元融合策略不仅确保了模型的知识权威性和临床相关性,更通过专家经验有效弥补了《慢性心力衰竭中医诊疗指南(2022年)》中定量关系的缺失,显著提升了模型的语义精度与临床适用性。

本研究通过FCM的拓扑网络结构和因果推理机制,实现了CHF病机的量化描述,在空间维度上FCM清晰地刻画了“疾病-分型-证素-证候”的立体关联网络。模型量化了HFpEF以气虚为基、血瘀为枢的病机状态,HFrEF呈现血瘀、水饮标实亢进的病理特点。这种分型差异的量化表达,为理解现代医学中HFrEF与HFpEF的不同病理生理基础提供了

独特的中医病机视角。HFpEF 气阴两虚血瘀证相比于 HFrEF 气阴两虚血瘀证更易兼有痰饮化热证,分析其原因在于 HFpEF 可能存在独特的炎症-代谢调控机制,涉及多个信号通路和多种炎症介质^[27]。此外, HFpEF 患者中老年及女性患者占比较高,常合并高血压、冠心病和心房颤动^[28]。患者病程日久,产生瘀、痰、水等病理产物,治疗过程中长期使用利尿剂耗液伤津,加上“年四十而阴气自半”,阴虚生内热,热与痰瘀水饮相互胶结,使得机体持续性产生炎症免疫反应,加剧 HFpEF 进程。在时间维度上, FCM 展示了 CHF 随 NYHA 心功能恶化而呈现的“气虚→血瘀→水饮→阳虚”渐进性病机传变链。模型表明 NYHA 心功能Ⅲ级是关键的病机转折点,此时气虚、血瘀达到顶峰,而水饮权重骤然跃升,成为显著影响病理进程的第三要素。Ⅲ级时血瘀(0.81)达到高峰,水饮(0.35)骤升,此时阳虚(0.21)较轻,水饮主要由血瘀阻滞水道所致,符合《血证论》“血积既久,其水乃成”以及《金匱要略》“血不利则为水”的论述;Ⅳ级时阳虚(0.30)显著升高,阳气亏虚不能温化水湿,成为水饮(0.58)壅盛的主导因素,而血瘀(0.75)仍维持较高水平,二者共同作用。故Ⅲ级以血瘀致水为主,Ⅳ级则以血瘀阳虚共同致水为主,体现了“瘀→水→阳虚”的递进关系。这一量化结果生动诠释了“久病及阳”的理论精髓,揭示了阳气虚衰、水瘀互结是 CHF 终末阶段的病机本质,为温阳利水、活血化瘀法的应用提供了依据^[29]。此外,本研究发现的分级病机差异,与既往横断面研究^[8]、纵向研究^[30]的结论一致。

本研究量化结果与中医经典理论、现代研究结果^[8,31-32]高度一致,完美印证了韩向明教授^[33]、翁维良教授^[34]、严世芸教授^[35]、伍炳彩教授^[36]等提出的“心气虚是心力衰竭的始动因素”这一观点。气虚则血缓,日久成瘀,血瘀既是气虚的病理产物,也是气虚进一步发展加重的病机因素,气虚和血瘀相互影响,贯穿于 CHF 病程始终,与《医林改错》“元气既虚,必不能达于血管,血管无气,必停留而瘀”的论述完全吻合。模型动态揭示了气虚与血瘀相互胶着、互为因果,共同构成 CHF 病机网络的核心骨架。痰浊、水停是 CHF 病程中必然出现的产物,瘀血形成以后如不及时化解可导致痰浊水饮的产生。模型揭示的“痰↔血瘀”强关联是“痰瘀同病”理论的有力佐证。《景岳全书》载“痰涎皆本气血,若化失其正,则脏腑病,津液败,而血气既成痰涎”,明确指出

瘀血可以转化为痰浊。

本研究构建了基于 FCM 的 CHF 中医病机量化模型,首次实现了“分型-分级-证素-证候-症状体征”多维网络的拓扑构建。模型印证气虚为 CHF 始发病机,与血瘀强关联,气虚血瘀贯穿疾病全程,精准刻画了 HFpEF 气虚为基、血瘀为枢,以及 HFrEF 血瘀、水饮标实亢进的分型病机差异,并随着 NYHA 心功能恶化呈现“气虚→血瘀→水饮→阳虚”的病机传变规律。FCM 模型以其独特的表达复杂系统非线性动态关系的能力,突破了传统中医病机研究在量化、可视化及关联网解析方面的局限,为“本虚标实”“因虚致瘀”“痰瘀同病”“血水相关”等经典 CHF 中医理论提供了印证。然而当前模型因果关系权重主要依赖专家经验评分,虽辅以文献证据,仍存在一定主观性。本研究的知识抽取仅基于单一指南作为数据源,尽管该指南代表了当前 CHF 中医诊疗的权威知识,但单一知识源无法完全覆盖临床实践中潜在的病机关联与个体差异,因此在模型全面性及普适性上存在一定局限性。未来亟需整合多源异构数据,如多中心、大样本的临床真实世界数据和名老中医病案证据库,以增强模型的普适性。同时,应积极探索机器学习与专家知识的融合机制,利用临床数据对专家初始赋值进行客观优化,从而构建具备动态更新能力的 FCM 病机模型。

参考文献:

- [1] Benjamin E J, Muntner P, Alonso A, et al. Heart disease and stroke statistics-2019 update: A report from the American Heart Association[J]. Circulation, 2019, 139(10): e56-e528.
- [2] 国家心血管病中心,中国心血管健康与疾病报告编写组.中国心血管健康与疾病报告 2023 概要[J]. 中国循环杂志, 2024, 39(7): 625-660.
- [3] 中华医学会心血管病学分会,中华心血管病杂志编辑委员会.血管紧张素受体-脑啡肽酶抑制剂在心力衰竭患者中应用的中国专家共识[J]. 中华心血管病杂志, 2022, 50(7): 662-670.
- [4] 中国心力衰竭中心联盟专家委员会.心力衰竭 SGLT2 抑制剂临床应用的中国专家共识[J]. 临床心血管病杂志, 2022, 38(8): 599-605.
- [5] 中国中西医结合学会心血管病专业委员会,中国医师协会中西医结合医师分会心血管病学专家委员会.慢性心力衰竭中西医结合诊疗专家共识[J]. 中国中西医结合杂志, 2016, 36(2): 133-141.
- [6] 刘亚丽.基于古典医籍和文献资料探讨慢性心衰中医证治[J]. 内蒙古中医药, 2022, 41(4): 153-155.
- [7] 张赤道,王永霞,朱明军,等.1973—2023 年慢性心力衰竭中医证候特征演变规律文献研究[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2025, 27(1): 121-131.

- [8] 洪芳.慢性心力衰竭中医证候要素、临床症状与理化指标的关联性研究[D].上海:上海中医药大学,2023: 15-19.
- [9] 马晓贞.基于Pink1/Parkin信号通路探究温阳益气活血方对慢性心力衰竭大鼠模型线粒体自噬的作用机制[D].西宁:青海大学,2024: 12-22.
- [10] 楚露.基于中医传承计算平台探讨李长生教授对慢性心力衰竭的治疗[D].济南:山东中医药大学,2024: 3-10.
- [11] Kosko B. Fuzzy cognitive maps[J]. Int J Man Mach Stud, 1986, 24(1): 65-75.
- [12] Bakhtavar E, Valipour M, Yousefi S, et al. Fuzzy cognitive maps in systems risk analysis: A comprehensive review[J]. Complex Intell Syst, 2021, 7(2): 621-637.
- [13] Amirkhani A, Papageorgiou E I, Mohseni A, et al. A review of fuzzy cognitive maps in medicine: Taxonomy, methods, and applications[J/OL]. Comput Meth Prog Bio, 2017-02-22. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28325441/>.
- [14] Apostolopoulos I D, Papandrianos N I, Papathanasiou N D, et al. Fuzzy cognitive map applications in medicine over the last two decades: A review study[J]. Bioengineering, 2024, 11(2): 139.
- [15] Giles B G, Findlay C S, Haas G, et al. Integrating conventional science and aboriginal perspectives on diabetes using fuzzy cognitive maps[J]. Soc Sci Med, 2007, 64(3): 562-576.
- [16] Khodadadi M, Shayanfar H, Maghooli K, et al. Fuzzy cognitive map based approach for determining the risk of ischemic stroke [J]. IET Syst Biol, 2019, 13(6): 297-304.
- [17] Mahmoodi S A, Mirzaie K, Mahmoodi M S, et al. A medical decision support system to assess risk factors for gastric cancer based on fuzzy cognitive map [J/OL]. Comput Math Methods Med, 2020-10-05. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33082836/>.
- [18] Sovatzidi G, Vasilakakis M, Iakovidis D K. Constructive fuzzy cognitive map for depression severity estimation [J]. Stud Health Technol Inform, 2022, 294: 485-489.
- [19] Hoyos W, Aguilar J, Toro M. A clinical decision-support system for dengue based on fuzzy cognitive maps[J]. Health Care Manag Sci, 2022, 25(4): 666-681.
- [20] 中华中医药学会慢性心力衰竭中医诊疗指南项目组.慢性心力衰竭中医诊疗指南(2022年)[J]. 中医杂志, 2023, 64(7): 743-756.
- [21] Zhou X, Wu Z, Yin A, et al. Ontology development for unified traditional Chinese medical language system[J]. Artif Intell Med, 2004, 32(1): 15-27.
- [22] Boeckhout M, Zielhuis G A, Bredenoord A L. The FAIR guiding principles for data stewardship: fair enough? [J]. Eur J Hum Genet, 2018, 26(7): 931-936.
- [23] 黎敬波, 马力. 中医临床常见症状术语规范[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2015.
- [24] GB/T 16751.2—2021 中医临床诊疗术语 第2部分: 证候[S].
- [25] Poleto T, Carvalho V D H, Silva a L B D, et al. Fuzzy cognitive scenario mapping for causes of cybersecurity in telehealth services [J]. Healthcare, 2021, 9(11): 1504.
- [26] 张鹏. 冠心病慢性心力衰竭常见证候、证候要素分布规律的研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2011: 61.
- [27] 和振杰, 时晓迟, 赵英强. 基于虚、痰、瘀、毒理论浅析射血分数保留的心力衰竭炎症状态与中医药干预策略[J]. 天津中医药大学学报, 2024, 43(7): 637-649.
- [28] Cai A, Qiu W, Zhou Y, et al. Clinical characteristics and 1-year outcomes in hospitalized patients with heart failure with preserved ejection fraction: results from the China cardiovascular association database-heart failure center registry[J]. Eur J Heart Fail, 2022, 24(11): 2048-2062.
- [29] 周文龙, 马杰, 严骅, 等. 严氏苍山太阳柱燎穴位敷贴治疗阳虚血瘀型慢性心力衰竭的临床研究[J]. 上海中医药杂志, 2024, 58(5): 47-51.
- [30] 黄馨懿. 基本证候视角下慢性心力衰竭证候复杂特征及演变规律研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2025: 58-69.
- [31] 韩佩羽. 慢性心力衰竭中医证型分布规律研究[D]. 沈阳: 辽宁中医药大学, 2023: 10-26.
- [32] 罗良涛. 辨证候要素组方治疗慢性心力衰竭的临床研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2014: 33-49.
- [33] 谢先余. 韩明向教授从气、血、水论治心力衰竭经验[J]. 河北中医, 2021, 43(11): 1786-1789.
- [34] 苏文文, 张苑桐, 钱真真, 等. 翁维良治疗扩张型心肌病临证验案分析[J]. 天津中医药, 2021, 38(12): 1497-1501.
- [35] 徐燕, 杨爱东, 唐靖一, 等. 严世芸治疗充血性心力衰竭的经验[J]. 上海中医药杂志, 2006, 40(10): 10-11.
- [36] 蒋承利, 曾建斌, 万蝉俊, 伍炳彩治疗心力衰竭经验[J]. 江西中医药, 2014, 45(10): 17-18.

编辑: 严 林

收稿日期: 2025-09-17