

· 数据挖掘 ·

## 基于知识图谱的中西医结合急腹症诊疗推理分析

付子轩<sup>1</sup>, 周鹏<sup>1,2\*</sup>, 任海燕<sup>3,4\*</sup>, 商楚浩<sup>5</sup>, 罗静静<sup>6</sup>, 郭义<sup>3,4</sup>, 王西墨<sup>7</sup>

(1. 天津大学 医学工程与转化医学研究院, 天津 300072;

2. 天津大学 精密仪器与光电子工程学院, 天津 300072;

3. 天津中医药大学 中医学院, 天津 301617;

4. 天津市现代中医理论创新转化重点实验室, 天津 300499;

5. 天津大学 国际工程师学院, 天津 300072;

6. 复旦大学 工程与应用技术研究院, 上海 200433;

7. 天津市中西医结合医院, 天津 300102)

**【摘要】** 目的:针对急腹症临床诊疗规范化问题和名老中医诊疗经验传承问题,提出基于不完备知识库的关联规则挖掘(AMIE)+随机游走的诊疗推理算法,通过推荐病例的个性化诊疗方案,为基层医生提供信息服务和技术支持。方法:采集中西医结合诊疗急腹症的名老中医诊疗经验和临床诊疗指南文本数据,完成知识抽取任务,构建基于Neo4j的急腹症知识图谱。在基于本体规则推理的基础上,使用基于相似证候的规则推理扩展证候推荐结果中Jaccard相似度大于阈值的证候组合;使用语义路径覆盖算法计算症状节点之间的语义相似度,将症状节点分为10类,扩展同一类别的症状节点,并使用随机游走算法搜索证候连通的节点,扩展证候与症状节点的连接规则,以实现AMIE+随机游走的知识推理。结果:急腹症知识图谱包括1320个节点和2464个关系,根据知识推理的链接预测评价指标,对比3种算法在急腹症辅助诊疗应用上的推理结果;AMIE+随机游走算法通过扩展相似证候连接规则和证候-症状的连接规则来补全知识图谱,相较于基于本体规则的知识推理算法,其曲线下面积(AUC)高出15.18%,其精确度高出30.36%,实现了更准确有效的知识推理。结论:该研究运用知识图谱技术将急腹症的中西医诊断和疗法用药进行可视化,辅助基层临床医生直观查看诊疗过程和关系。提出的诊疗推理算法实现了在“病-证-诊-治-方”层面上的个性化诊疗方案推荐,能够辅助基层医生进行疾病诊疗和临床决策,有助于名老中医诊疗经验和临床指南的知识共享及推广应用,提高基层临床诊疗水平,促进中西医结合急腹症诊疗过程的规范化与标准化。

**【关键词】** 中西医结合; 急腹症; Neo4j; 知识图谱; 知识推理; 辅助诊疗; 个性化推荐; 不完备知识库的关联规则挖掘(AMIE);随机游走算法

**【中图分类号】** R22;R24;R33;R278;R285.6;R44;R45;TP391 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1005-9903(2023)11-0190-10

**【doi】** 10.13422/j.cnki.syfjx.20230512

**【网络出版地址】** <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20230321.1503.001.html>

**【网络出版日期】** 2023-03-22 14:47:26

## Diagnosis and Treatment Reasoning of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine Against Acute Abdomen Based on Knowledge Graph

FU Zixuan<sup>1</sup>, ZHOU Peng<sup>1,2\*</sup>, REN Haiyan<sup>3,4\*</sup>, SHANG Chuhao<sup>5</sup>, LUO Jingjing<sup>6</sup>, GUO Yi<sup>3,4</sup>, WANG Ximo<sup>7</sup>

(1. School of Medical Engineering and Translational Medicine, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

**【收稿日期】** 2023-02-14

**【基金项目】** 中国工程院重大咨询项目(2019-ZD-6-03)

**【第一作者】** 付子轩,在读硕士,从事中医知识图谱研究,E-mail:zxfu1289231229@163.com

**【通信作者】** \*周鹏,博士,副教授,从事中医大数据与人工智能研究,E-mail:zpzp@tju.edu.cn;

\*任海燕,博士,讲师,从事人工智能与中医学、中医药标准化、内经理论创新转化应用等研究,E-mail:rhyxiaotong@163.com

2. School of Precision Instrument and Opto-electronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;
3. School of Traditional Chinese Medicine (TCM), Tianjin University of TCM, Tianjin 301617, China;
4. Tianjin Key Laboratory of Modern Chinese Medicine Theory of Innovation and Application, Tianjin 300499, China;
5. School of International Engineers, Tianjin University, Tianjin 300072, China;
6. Academy for Engineering & Technology, Fudan University, Shanghai 200433, China;
7. Tianjin Hospital of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, Tianjin 300102, China)

**[Abstract]** **Objective:** In view of the standardization of clinical diagnosis and treatment of the acute abdomen and the inheritance of diagnosis and treatment experience of prestigious veteran traditional Chinese medicine (TCM) doctors, a diagnosis and treatment reasoning algorithm based on association rule mining under incomplete evidence (AMIE)+ random walk was proposed to provide information services and technical support for primary doctors by recommending personalized diagnosis and treatment plans based on medical records. **Method:** The experience of diagnosis and treatment of acute abdomen of prestigious veteran TCM doctors and the text data of clinical diagnosis and treatment guidelines of integrated TCM and western medicine were collected to complete the task of knowledge extraction and construct acute abdomen knowledge graph based on Neo4j. On the basis of ontology-supported rule-based reasoning, the rule reasoning based on similar syndromes was used to expand the syndrome combinations whose Jaccard similarity was greater than the threshold in the syndrome recommendation results. The semantic path coverage algorithm was used to calculate the semantic similarity between the symptom nodes. The symptom nodes were divided into 10 categories, and the symptom nodes in the same category were extended. The random walk algorithm was used to search the symptom nodes connected with the syndrome, and the connection rules between the syndrome and symptom nodes were extended to realize the knowledge reasoning of AMIE+ random walk. **Result:** The acute abdomen knowledge graph included 1 320 nodes and 2 464 relationships. According to the link prediction evaluation index of knowledge reasoning, the reasoning results of the three algorithms in the auxiliary diagnosis and treatment of acute abdomen were compared. The AMIE+ random walk algorithm complemented the knowledge graph by extending the similar syndrome connection rules and the syndrome-symptom connection rules. Compared with the knowledge reasoning algorithm based on ontology rules, the area under the curve (AUC) was 15.18% higher and the accuracy was 30.36% higher, which achieved more accurate and effective knowledge inference. **Conclusion:** This study used knowledge graph technology to visualize the diagnosis and treatment of acute abdomen with TCM and western medicine, assisting primary clinicians in intuitively viewing the diagnosis and treatment process and data relationship. The proposed diagnosis and treatment reasoning algorithm can realize the personalized diagnosis and treatment plan recommendation at the level of "disease-syndrome-diagnosis-treatment-prescription", which can assist primary doctors in disease diagnosis and treatment and clinical decision-making, contribute to the knowledge sharing and application of diagnosis and treatment experience and clinical guidelines of prestigious veteran TCM doctors, improve the level of primary clinical diagnosis and treatment, and promote the normalization and standardization of the diagnosis and treatment process of acute abdomen with integrated TCM and western medicine.

**[Keywords]** integration of traditional Chinese and western medicine; acute abdomen; Neo4j; knowledge graph; knowledge reasoning; auxiliary diagnosis and treatment; personalized recommendation; association rule mining under incomplete evidence (AMIE); random walk algorithm

指出国家大力发展中医药事业,坚持中西医并重、传承与创新相结合,发挥中医药在医疗卫生与健康事业中的独特作用。因此促进中医药振兴发展,加强中西医结合创新中西医结合医疗模式,健全中西医协同疫病防治机制显得尤为重要,通过研究实现一个能基于中西医结合临床数据,给出中医药诊疗方案推荐的推理算法也显得非常必要。急腹症<sup>[1]</sup>作为中西医结合临床常见的疾病,是以急性腹痛为主要表现的腹腔脏器类疾病的总称,临床上常见的急腹症疾病包括急性胰腺炎、急性阑尾炎、急性胆囊炎等<sup>[2]</sup>。中西医结合治疗急腹症是通过将西医辨病和中医辨证相结合<sup>[3]</sup>,合理地选择手术和非手术疗法,并根据不同的辨证分型,进行正确的立法、处方、用药,以提高临床疗效。

目前中西医结合临床诊疗疾病过程中由于基层医生临床诊疗经验不足,缺少对名老中医专家诊疗经验的学习和传承,存在诊疗过程不规范、医疗资源配置不平衡等问题<sup>[4]</sup>。针对上述问题,传承和普及名老专家指导经验有助于提升基层医疗服务水平,有效改善医疗健康服务,促进诊疗过程的规范化和标准化<sup>[5]</sup>。吴咸中院士作为中西医结合诊疗急腹症的名老专家,在急腹症方面有丰富的临床诊疗经验。知识图谱技术能够将多源多领域数据以语义网络的形式展示其连接关系,在医疗卫生领域的应用越来越广泛,多用于专病知识图谱的构建<sup>[6]</sup>和名老中医诊疗经验的传承和规律总结。本研究将中西医理论和知识图谱技术<sup>[7]</sup>相结合,以吴咸中院士对于急腹症临床诊疗经验和急腹症诊疗相关书籍为数据基础,通过西医辨病和中医辨证相关的数据节点及关系构建基于专家经验和临床指南的急腹症知识图谱,在基于不完备知识库的关联规则挖掘算法(AMIE)和随机游走算法的基础上,研究提出AMIE+随机游走的知识推理算法并应用到中西医结合急腹症诊疗推理中,为急腹症的智能化诊疗提供基础,同时为提高基层诊疗急腹症的水平提供创新型数字化技术支持。

## 1 急腹症知识图谱的构建

**1.1 数据来源** 通过电子检索中国知网(CNKI)数据库,筛选出吴咸中院士关于中西医结合诊疗急腹症的文献<sup>[8-21]</sup>,并搜集中西医结合诊疗急腹症相关权威医学书籍《中西医结合治疗急腹症》<sup>[22]</sup>、《中西医结合内科学》<sup>[23]</sup>、《中医临床诊疗指南》<sup>[24]</sup>、《中医诊断学》<sup>[25]</sup>、《方剂学》<sup>[26]</sup>等书籍。共包括14篇期刊文献和5本中医书籍,用于收集急腹症非结构化临

床文本数据。

中医辨证是对四诊数据按照中医体系对急腹症进行八纲、脏腑和病邪的辨证,是立法、处方、用药的依据,是中西医结合辨证急腹症的重要内容。本研究选取8种常见的急腹症疾病,通过疾病不同的中西医结合临床分期分型,实现了中西医结合急腹症辅助诊疗的应用,见表1。

表1 急腹症疾病及中西医结合临床分期分型

Table 1 Diseases of acute abdomen and clinical staging and classification of integrated traditional Chinese and Western medicine

No.	急腹症疾病	中西医结合临床分期分型
1	溃疡病穿孔	闭孔期,消炎期,修疡期(虚寒型、肝郁型、血瘀型)
2	急性肠梗阻	痞结型、瘀结型、疽结型
3	胆道蛔虫病	单纯型、炎症型、并发症型、隐型
4	胆囊炎胆石病	气郁型、湿热型、脓毒型
5	急性胰腺炎	轻型、重型、合并型
6	阑尾炎	瘀滞型、成脓型、脓肿型、破溃型
7	尿石病	气结型、湿热型
8	宫外孕	出血期(内崩型、厥脱型),瘀结期(瘀结型、瘀疽型)

**1.2 知识抽取** 通过手工提取收集到的急腹症诊疗文本数据完成实体识别、实体分类、关系抽取、知识去重等任务。

**1.2.1 实体识别** 通过阅读书籍和文献,将非结构化数据中有关中西医结合辅助诊疗急腹症的实体识别出来。

**1.2.2 实体对齐** 根据实体的同义词进行实体合并。

**1.2.3 实体分类** 将识别到的实体分为疾病、症状、舌象、脉象、证候、疗法、方剂、中药、脏腑、病因、诊断11类,根据不同类别的实体收集数据。实体中包含名称、描述、来源等属性,以区分不同的实体节点。例如中药“黄芪”节点的描述属性为“功效:补气升阳、益卫固表、托毒生肌、利水消肿;外形:直根为圆柱形,表面呈淡黄色或淡棕褐色;药味药性:味甘,性微温;主要用于治疗气虚乏力、久泻脱肛、自汗、水肿等病症”。

**1.2.4 关系抽取** 根据实体间的对应关系,抽取到的关系类别主要包括诊断、引起、影响、治疗、被治疗、包含、表现等21个。在中药-症状关系中使用对应的治疗方法和适用症状等关系属性进行描述。例如“半夏”节点和“恶心”节点之间的关系属性为

“治疗方法:燥湿化痰、降逆止呕,用于痰饮或胃寒呕吐”。

**1.2.5 知识去重** 对收集到的实体与关系数据进行处理,去除重复值。

**1.2.6 实体规范化** 对知识抽取后的实体节点进行规范化处理,根据国家卫生健康委员会和国家中医药管理局发布的《中医临床诊疗术语第2部分:证候》标准对证候节点名称进行规范化,见表2。通过知识抽取<sup>[27]</sup>将急腹症数据存储在不同的Excel表格中,形成统一标准的急腹症数据源。

表2 证候节点名称规范化

Table 2 Standardization of syndrome node names

No.	规范化前	规范化后	No.	规范化前	规范化后
1	热证	热证	26	食积	饮食积滞证
2	寒证	寒证	27	虫结	虫结证
3	气滞	气滞证	28	里证	里证
4	血瘀	血瘀证	29	实证	实证
5	热重	热重于湿证	30	虚证	虚证
6	湿重	湿重于热证	31	湿阻	湿阻气分证
7	热毒	火毒证	32	肝郁气滞证	肝郁气滞证
8	瘀热	瘀热证	33	肝胆湿热证	肝胆湿热证
9	肝瘀气滞	肝郁血瘀证	34	虚寒	虚寒证
10	脾胃湿热	脾胃湿热证	35	瘀滞型	瘀滞证
11	实热	里热证	36	成脓型	成脓期
12	脾虚	脾虚证	37	脓毒	脓毒证
13	肝郁	肝郁证	38	瘀结型	瘀血内结证
14	胃热	胃热证	39	肾阴虚	肾阴虚证
15	湿热	湿热证	40	阴虚	阴虚证
16	肾虚	肾虚证	41	肝火湿盛	肝火湿热证
17	中焦实热	中焦湿热证	42	表里俱热	表里实热证
18	肝胃气滞	肝胃气滞证	43	气虚	气虚证
19	气郁	气滞证	44	血虚	血虚证
20	气逆	气逆证	45	热灼伤津	热盛伤津证
21	寒凝	寒邪凝滞证	46	膀胱湿热	膀胱湿热证
22	内寒	里寒证	47	食滞	伤食证
23	外寒	寒邪外感证	48	膀胱蕴热	膀胱蕴热证
24	下焦蓄血证	下焦蓄血证	49	瘀血阻滞证	瘀血阻滞证
25	气虚血瘀证	气虚血瘀证			

**1.3 构建知识图谱** 知识图谱是以语义网络为核心实现图的知识表示与组织方法<sup>[28]</sup>,首先建立知识图谱本体层,形成中西医结合急腹症诊疗通用的标准数据模型。根据急腹症数据实体概念和语义关系结合中医临床专家经验,构建的急腹症知识图谱

本体层,见图1。

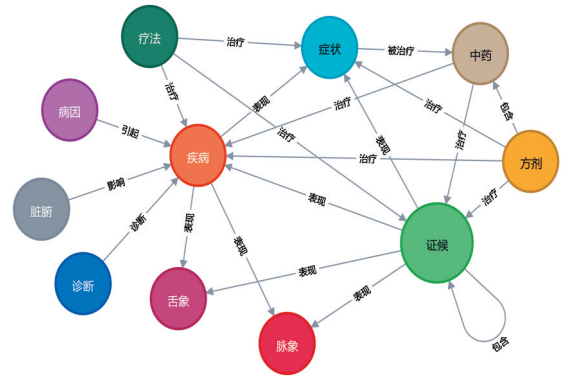


图1 急腹症知识图谱本体层

Fig. 1 Ontology layer of acute abdomen knowledge graph

根据本体层的实体和关系,将收集的急腹症数据导入Neo4j图数据库,构建的急腹症知识图谱的实体节点个数共1320个,关系个数共2464个。构建的急腹症知识图谱能够实现对诊疗数据节点的可视化显示和查询,针对不同的方剂中药在功用方面的区别,将不同中药、方剂节点的功效等特点以节点属性的形式进行描述,将方剂和中药对于不同的证候、症状、脉象等节点的治疗特点以关系属性的形式进行描述。急腹症知识图谱的“实证”证候节点相连接的数据关系在Neo4j图数据库中的可视化显示,见图2。

由于部分证候节点在中医临床诊疗术语标准中属于不同层级,在构建的知识图谱中创建证候节点之间的“包含”关系进行区分,见图3。

通过查询实体之间的语义关系路径,在Neo4j图数据库中完成急腹症知识图谱的可视化及实体关系的语义查询,为实现急腹症的证候推理提供数据支持。

**2 基于急腹症知识图谱的诊疗推理**

基于知识图谱的知识推理是利用机器学习的方法推断实体之间潜在的关系,根据现有数据自动识别错误知识并补充知识图谱。知识推理主要包括基于规则的推理、基于分布式的推理和基于神经网络的推理<sup>[29]</sup>,基于规则的知识推理是利用实体的连接规则或统计特征进行推理。

知识图谱中的规则主要是以 $r(e_i, e_j)$ 的形式表示实体之间的关系,并通过基于知识图谱的知识推理方法实现多节点之间关系的链接预测推理。本研究通过实现基于本体规则的知识推理、基于相似证候的知识推理、基于AMIE+随机游走的知识推



$1 - \frac{1}{n} \sum \alpha_i |\mu_s(\mu_i^+) - \mu_s(\mu_i^0)|$ 。经过与相关临床专家讨论,初步设定主症的权重系数  $\alpha_i = 0.5$ , 兼症的权重系数  $\alpha_i = 0.3$ , 舌象的权重系数  $\alpha_i = 0.1$ , 脉象的权重系数  $\alpha_i = 0.1$ 。

**2.2 基于相似证候的知识推理** 急腹症辅助诊疗过程是通过学习知识图谱中的每条规则并排除所有反例,得到知识推理结果。考虑到中医不同证候之间的相似性<sup>[31]</sup>,在学习一个证候规则时放宽条件,不用排除拥有相似证候的数据。根据急腹症知识图谱中证候对应的诊断、疾病、症状、舌象、脉象等向量,计算证候之间的 Jaccard 相似性,见表4。Jaccard 相似性公式如式2,其中 A、B 表示两个证候节点。

表4 证候的 Jaccard 相似性结果

Table 4 Jaccard similarity result of syndrome

No.	syndrome1	syndrome2	Similarity(syndrome1, syndrome2)
1	热证	里证	0.333
2	气滞证	气逆证	0.300
3	瘀滞证	肾虚证	0.250
4	气滞证	寒邪外感证	0.250
5	气逆证	寒邪外感证	0.250
6	气逆证	肝郁气滞证	0.250
7	里寒证	虚寒证	0.250
8	肝胆湿热证	肠胃热结证	0.214
9	气滞证	肝郁气滞证	0.207

$$Jaccard(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} = \frac{|A \cap B|}{|A| + |B| - |A \cap B|} \quad (2)$$

设置相似性阈值为  $\theta = 0.2$ , 保留相似性大于阈值的证候组合,对推理得到的证候进行扩展,扩展后的证候为所有相似证候的集合。例如:证候 syndrome1, 推荐度为  $P_1$ , 扩展后的证候 syndrome2, 推荐度见公式(3)。

$$P_2 = P_1 \times \text{Similarity}(\text{syndrome1}, \text{syndrome2}) \quad (3)$$

### 2.3 基于 AMIE+随机游走的知识推理

**2.3.1 基于 AMIE 的知识推理** 基于 AMIE 算法是通过依次学习预测每种关系的规则<sup>[32]</sup>,根据挖掘算法迭代扩展规则探索搜索空间,在遍历搜索空间的过程中,使用以下操作扩展规则:①添加悬挂边  $O_D$ ,向规则中添加新的边,边的一个参数在规则中,另一个参数为新变量。②添加实例边  $O_I$ ,向规则中添加新的边,边的一个参数为一个实体,另一个参数在规则中。③添加闭合边  $O_C$ ,向规则添加新的边,

2个参数都在规则中。

由于急腹症知识图谱的不完备性,采用 AMIE 算法的添加悬挂边  $O_D$ 、添加闭合边  $O_C$  方法补全知识图谱,应用到本研究中的扩展规则,见图4,并结合公式①计算证候推荐度。通过语义相似度方法<sup>[33]</sup>,计算症状的语义相似度扩展症状,以添加证候与症状节点之间的悬挂边  $O_D$ 。

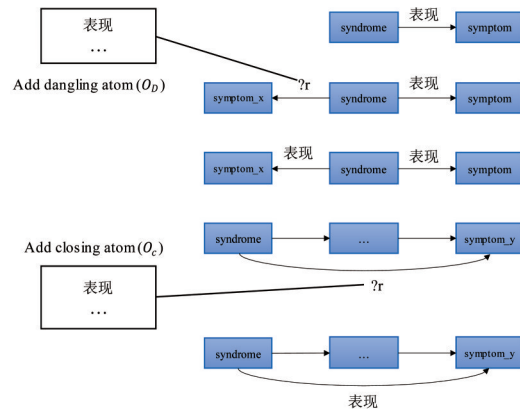


图4 AMIE对急腹症规则扩展的工作流程

Fig. 4 Workflow diagram of AMIE's extended acute abdomen rule

症状节点的语义相似度见公式4,其中  $\alpha$  为节点语义路径的交集,  $\beta$  为节点语义路径的并集,  $IC(\alpha)$  表示节点  $c_1$  和  $c_2$  交集包含节点信息量的和,  $IC(\beta)$  表示节点  $c_1$  和  $c_2$  并集包含节点信息量的和。  $IC$  为概念的度量,计算方法见公式5,其中  $c'$  为节点  $c$  的子孙节点的个数,  $N$  为总节点个数。

$$sim(c_1, c_2) = \frac{IC(\alpha)}{IC(\beta)} \quad (4)$$

$$IC(c) = -\log\left(\frac{c'}{N}\right) \quad (5)$$

症状之间的语义相似度表示两者在知识图谱中同时出现的概率,在进行症状扩展时,根据症状所属类别在同一类型下进行扩展,保留症状间的语义相似度大于阈值的症状组合。根据语义相似度计算结果,设置症状间的语义相似度阈值为 0.6,保留相似度大于阈值的症状组合,在证候推理过程中,根据病例描述的症状进行扩展。

为保证症状扩展的准确性和有效性,根据《中医诊断学》<sup>[25]</sup>书籍将问诊的问现在症部分分为问寒热、问汗、问疼痛、问头身胸腹不适、问耳目、问睡眠、问饮食口味、问二便、问经带、问小儿10类,并分别进行类别标记。根据症状类别标记,扩展在同一个类别下且语义相似度大于阈值的症状组合,例如症状“语声有力”的扩展症状,见表5。

表5 症状“语声有力”的扩展症状

Table 5 Symptoms extended symptoms of "voice power"

相似症状	类别	是否扩展
腹痛重	3	否
精神充沛	4	是
面红而泽	4	是
热汗	2	否
腹痛突发	3	否
呕吐剧烈	7	否
大便全闭	8	否
冷汗	2	否
腹痛缓发	3	否
腹痛较轻	3	否
呕吐不剧	7	否
腹胀稍胀	4	是
腹胀极胀	4	是

注:类别均为4

根据症状所属类型为同一种实现症状扩展规则,结合症状语义相似度结果,添加知识图谱规则的悬挂边,添加扩展的症状与证候连接的边。例如对于症状“发病急、腹痛剧烈、腹痛拒按、身重、尿黄浊、大便稀而不爽、腹痛局限”进行扩展,见图5。

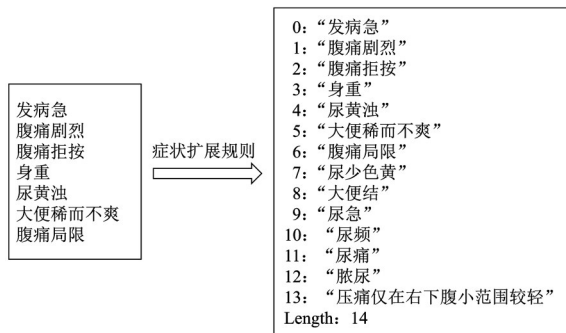


图5 症状扩展

Fig. 5 Symptoms of extension

**2.3.2 基于随机游走的知识推理** 通过AMIE算法在急腹症知识图谱中添加“证候-症状”的悬挂边补全知识图谱,在此基础上,采用基于随机游走<sup>[34]</sup>的知识推理添加与证候连接的闭合边补全知识图谱,其原理是以2个实体间的关系路径为特征的推理算法,判断实体之间可能存在的关系。基本思想是通过发现连接2个实体的一组关系路径预测实体间可能存在的某种特定关系,该路径可以描述为一条规则,这种规则为路径规则或封闭式规则。规则的规则体原子中的变量从头节点 $x$ 开始,如 $r_1(x, z_1)$ ,沿着图谱中的路径 $r_2(z_1, z_2)$ ,一直到 $r_n(z_{n-1}, y)$ , $y$ 为尾

节点,见公式6。

$$r_1(x, z_1) \wedge r_2(z_1, z_2) \wedge \dots \wedge r_n(z_{n-1}, y) \Rightarrow r(x, y) \quad (6)$$

深度优先搜索是从图结构中从任意节点开始,通过遍历或搜索节点的路径信息,来访问所有节点信息的算法。由于构建的急腹症知识图谱保存的节点之间的关联信息都是正例规则,不区分实体类型,使用深度优先搜索算法遍历证候节点能够连通到的所有症状节点,部分结果见表6。

表6 与证候连通的症状节点

Table 6 Symptom nodes connected to the syndrome

No.	证候	证候连通的症状节点
1	膀胱蕴热证	尿时茎中刺痛、尿浑浊、尿短、尿赤、痛引少腹、膀胱里急
2	伤食证	上腹痞硬胀满痛、上酸、不思饮食、呕吐、嗳饱、心烦不安、恶心、拒按
3	膀胱湿热证	尿急、尿痛、尿石病、尿频、脓尿、茎中热痛、血尿
4	热盛伤津证	口渴、口燥、大便难、尿短、尿赤、皮肤干涩粗糙、眼眶下陷
5	血虚证	喜热饮、头晕、气短、皮肤干涩粗糙、目眩、面唇淡白
6	气虚证	上酸、吐苦、呃逆、呼吸短浅、嗳气、声低懒语、头晕、少腹胀满、按之柔软、疼痛、痛连胸肋、纳少不化、肢体倦怠、肿块无定形、胸闷、腹满、阵痛无定处
7	瘀血内结证	包块形成、瘀血凝滞、肾囊封闭、肾脂肪囊封闭
8	气滞证	上酸、乏力、可有块形、吐苦、呃逆、嗳气、噎腐吞酸、大便不通、小腹痛、少腹胀满、按之柔软、疼痛、疼重、痛连胸肋、肾绞痛、肿块无定形、胸闷、腰酸、腹满、腹胀满、血尿、轻度腰痛阵痛无定处
9	成脓期	体温多升高、白细胞在 $15\ 000/\text{mm}^3$ 左右、腹痛较剧烈、腹膜刺激明显,无扩散趋势
10	瘀滞证	体温正常或稍高、压痛仅在右下腹小范围较轻、无腹膜刺激、白细胞正常或稍高、腹痛局限、腹腔脓肿

深度优先搜索遍历证候节点的连通图,把与证候节点所有能连通的症状节点加入候选集中,在诊疗推理过程中,通过搜索证候对应的候选集是否包含选中的症状,如果包含则在证候与症状节点之间添加闭合边 $O_c$ 。

**2.4 诊疗推理过程** 基于AMIE+随机游走的知识推理算法是以基于本体规则和基于相似证候的知识推理为基础,通过添加悬挂边和闭合边的方式扩展规则,得到诊疗推理过程中符合病例数据的证候及推荐度。通过选取推荐证候中最符合的证候结果,使用图6的推理路径得到相应疗法和方药(方剂+中药)的推荐度及相关属性。

在诊疗推理的过程中使用基于AMIE+随机游

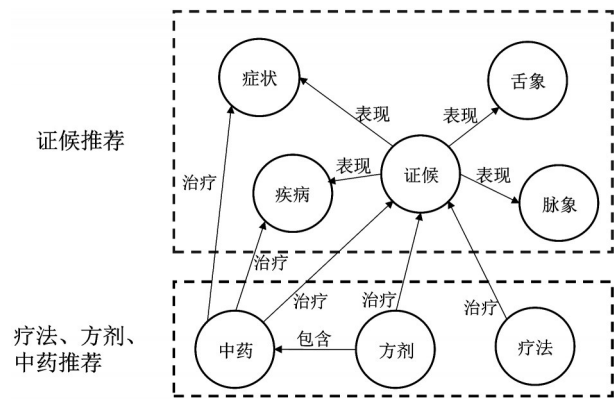


图6 知识推理路径

Fig. 6 Knowledge reasoning path

走的知识推理算法补全知识图谱的连接边,并用式(1)的诊疗推荐度公式实现证候推荐;使用随机游走算法得到急腹症知识图谱中与疾病、症状、证候连接的中药节点,通过添加连接边完成知识的补全,并用诊疗推荐度公式根据病例的症状、脉象、舌象节点及与其连接的关系属性等信息实现疗法、方药(方剂+中药)推荐。

**2.5 诊疗推理结果** 根据知识推理的链接预测评价指标对诊疗推理结果进行验证分析,其中链接预测的评价指标包括曲线下面积(AUC)、精确度、排序分<sup>[35]</sup>。

AUC在整体上衡量了链接预测算法的准确性,算法经过训练后会在知识图谱网络中得到每对节点的相似值,>0.5的程度表示算法优于随机选择算法的程度。其中  $n$  表示独立比较的次数,结果测试集中的节点分数大于不存在的节点分数有  $n_1$  次,2个分数相等有  $n_2$  次。

$$AUC = \frac{n_1 + 0.5n_2}{n} \quad (7)$$

精确度是根据节点对之间出现连接的可能性大小排序,计算前  $L$  个预测节点中预测准确的比例。如果有  $m$  个预测准确,排在前  $L$  的节点中有  $m$  个在测试集中,精确度定义为式(8)。

$$Precision = \frac{m}{L} \quad (8)$$

表8 知识推理算法的证候推荐

Table 8 Syndrome recommendation results of knowledge reasoning algorithm

基于本体规则		基于相似证候		基于 AMIE+随机游走		来源
证候	推荐度/%	证候	推荐度/%	证候	推荐度/%	
虚寒证	89.00	虚寒证	89.00	虚寒证	83.00	《中西医结合治疗急腹症》
肝郁证	75.00	肝郁证	75.00	肝郁证	73.00	《中西医结合治疗急腹症》
瘀血阻滞证	70.00	瘀血阻滞证	70.00	瘀血阻滞证	69.00	《中西医结合治疗急腹症》
		里寒证	22.25	里寒证	20.75	与虚寒证的相似证候

排序分通过考虑测试集节点在最终排序中的位置,  $H$  为未知节点的集合,  $r_e \in E^p$  表示测试节点  $e$  在预测算法之后节点排序中的排名,测试节点的排序分为  $RS_e = \frac{r_e}{|H|}$ ,通过遍历所有在测试集的节点,计算得到的排序分值越小说明算法的预测效果越好。

$$RS = \frac{1}{|E^p|} \sum_{e \in E^p} \frac{r_e}{|H|} \quad (9)$$

基于本体规则的知识推理通过使用急腹症知识图谱中的节点连接关系和诊疗推荐度方法,完成个性化诊疗方案推荐。基于相似证候的知识推理实现了在推荐证候的基础上,扩展相似性大于阈值的证候组合。为了实现不完备知识图谱在急腹症诊疗推理上的应用,本研究提出了基于 AMIE+随机游走的知识推理算法,用于补全知识图谱。链接预测评价指标结果分析见表7,基于 AMIE+随机游走的知识推理相较于基于本体规则的知识推理,其 AUC 高出 15.18%,精确度高出 30.36%,实现了更准确有效的知识推理。

表7 链接预测评价指标结果

Table 7 Link prediction evaluation index results

链接预测评价标准	AUC/%	精确度/%	排序分
基于本体规则	78.57	57.14	0.571
基于相似证候	87.50	75.00	0.438
基于 AMIE+随机游走	93.75	87.50	0.453

本研究为了促进该诊疗推理算法的推广应用,还研发了一个支持选择输入病例疾病和四诊数据的智能辅助决策系统,以完成对病例的个性化诊疗方案推荐。例如对于病例数据中急腹症疾病为“溃疡病急性穿孔”,主症为“痛时窜至胸肋后背、饥时痛重、呕吐清水、食后痛减、畏寒肢冷、胃痛喜按、喜热饮”,兼症为“上腹部持续疼痛、苍白、冷汗、心慌、气短、恶心”,舌象为“淡红舌、黄苔、腻苔”,脉象为“沉、迟、数”。得到的诊疗推理结果,见表8-表10。

表9 知识推理算法的疗法推荐

Table 9 Treatment recommendation results of knowledge reasoning algorithms

疗法	属性	推荐度/%
温中健脾		83.00
疏肝理气和胃		73.00
针刺疗法	第一期(闭孔期)取穴:根据循经及局部取穴原则,取上腕、中腕、双梁门、双天枢、双内关、双足三里或反应点。手法:采强刺激,以麻酸胀为准。留针30~60 min,每15 min捻转1次,每4~6 h施针1次。	70.95
活血化瘀	用于治疗瘀血阻滞证	69.00
养血柔肝		69.00

注:来源均为《中西医结合治疗急腹症》

表10 知识推理算法的方药推荐

Table 10 Prescription recommendation results of knowledge reasoning algorithm

方药	组成	推荐度/%
小建中汤	半夏、吴茱萸、甘草、乌贼骨、大枣、生姜、芍药、桂枝	83.00
柴胡疏肝汤	木香、香附、陈皮、砂仁、枳壳、乌贼骨粉、柴胡	73.00
红藤		69.00
桃仁		69.00
丹参		69.00

注:来源均为《中西医结合治疗急腹症》

对比3种知识推理算法在证候推荐的应用,在该病例中基于本体规则的知识推理得到虚寒证、血瘀证、肝郁证的推荐结果,推荐度表示该证候与病例的匹配程度;基于相似证候的知识推理在基于本体规则的推理基础之上,实现了对推荐证候的扩展,得到了里寒证作为与虚寒证的相似证候;基于AMIE+随机游走的知识推理通过补全知识图谱实现更准确的知识推理。以基于AMIE+随机游走的知识推理得到推荐度最大的证候“虚寒证”作为病例诊疗的证候结果,根据选择的证候结果,结合病例的症状、脉象等信息进一步得到疗法、方药的推荐结果。根据推荐度大小结合临床需要选择合适的疗法、方药作为病例的诊疗方案,使得推荐的个性化诊疗方案更具有实际意义。

### 3 讨论

名老中医为中医药临床研究提供了大量的文献参考资料,通过采集急腹症领域专家吴咸中院士对急腹症的临床经验及急腹症诊疗相关权威书籍的文本数据,完成知识抽取任务并构建急腹症知识图谱,对中西医结合诊疗急腹症的知识体系进行了组织表示,为实现知识图谱更有效的知识发现和进一步优化更新提供基础。使用基于知识图谱的知

识推理算法实现了知识推理算法在中西医结合急腹症诊疗推理的创新应用,提出的AMIE+随机游走的知识推理算法,通过对不完备知识库的补充完善,在知识推理的链接预测评价指标中验证了算法的准确性和可行性,为基于知识图谱的知识推理算法创新应用提供研究基础。

本研究从“病-证-诊-治-方”层面实现了知识图谱推理技术在中西医结合诊疗急腹症领域的初步应用,其研究成果可以辅助基层临床医生进行临床决策,有助于促进急腹症诊疗过程的规范化和标准化,具有一定的创新性和实践意义。一是以名老中医诊疗经验和权威临床指南为数据来源构建急腹症知识图谱,实现了对名老中医临床诊疗经验的总结传承,也为其他名老中医经验传承、中医临床疾病诊疗、疾病预测、疾病风险分析等中医数字化应用领域提供了研究基础。二是通过构建的急腹症知识图谱实现了数据的可视化,将中西医结合诊疗急腹症领域的专家经验和临床指南系统地展示出来,辅助临床医生直观地查看和搜索诊疗数据节点,以实现规范化的临床决策。三是创新性地提出了AMIE+随机游走的诊疗推理算法,能够在已知图网络结构的数据关系中挖掘到潜在的节点连接关系以补全知识库,实现中西医结合辅助急腹症诊疗推理应用,具有普适性和推广性,能够应用到其他名老中医诊疗经验传承、中医辅助辨证、中医辅助开方等领域。此外,构建的智能辅助决策系统,支持选择输入病例的疾病、症状、舌象、脉象等数据辅助临床完成个性化诊疗方案推荐,为中西医结合临床智能化的应用推广提供重要的参考价值。目前本研究已经开始进行临床数据的收集验证,在未来的3年内能够通过多中心数据量不断地积累,以实现急腹症知识库的进一步完善、迭代、更新。

[利益冲突] 本文不存在任何利益冲突。

[参考文献]

- [1] 王建. 急腹症的中医治疗[J]. 中国中医急症, 2011, 20(1):162.
- [2] 齐清会. 创立中西医结合急腹症治疗学[J]. 中国中西医结合杂志, 2019, 39(9):1033.
- [3] 吴咸中. 急腹症的中医辨证施治[J]. 护士进修杂志, 1986(12):20-21.
- [4] 孔鸣, 何前锋, 李兰娟. 人工智能辅助诊疗发展现状与战略研究[J]. 中国工程科学, 2018, 20(2):86-91.
- [5] 蔡秀军, 林辉, 乔凯, 等. 智能辅助决策支持系统在临床诊疗决策中的应用研究[J]. 中国数字医学, 2019, 14(3):111-113.
- [6] 刘金垒, 惠小珊, 张振鹏, 等. 基于中医诊疗指南的冠心病知识图谱构建[J]. 中国实验方剂学杂志, 2023, 29(7):208-215.
- [7] 张吉祥, 张祥森, 武长旭, 等. 知识图谱构建技术综述[J]. 计算机工程, 2022, 48(3):23-37.
- [8] 吴咸中, 徐长生, 王朝珍, 等. 肠梗阻证治[J]. 中医杂志, 1988(6):4-7.
- [9] 吴咸中, 许树朴. 急腹症辨证论治的几个问题[J]. 中医杂志, 1962(9):5-7.
- [10] 吴咸中, 李忠祺, 许树樸, 等. 急腹症辨证论治的进一步探讨[J]. 天津医药杂志, 1965(10):772-774.
- [11] 吴咸中. 急性胰腺炎的中西医结合治疗[J]. 世界华人消化杂志, 2001(4):417-418.
- [12] 吴咸中, 崔乃强, 何清宇, 等. 通里攻下法在腹部外科疾病中的应用与基础研究[J]. 中国中西医结合外科杂志, 2004(1):2.
- [13] 吴咸中. 中西医结合带来的深刻变化——中西医结合治疗急腹症的回顾与展望[J]. 中医杂志, 1979(10):3-8.
- [14] 吴咸中, 崔乃强. 中西医结合治疗重症急性胰腺炎的沿革、现况与展望[J]. 中国中西医结合外科杂志, 2012, 18(6):543-546.
- [15] 吴咸中. 对中西医结合治疗急腹症的展望[J]. 中西医结合杂志, 1984(9):518-520.
- [16] 吴咸中. 关于中西医结合治疗急腹症基础的临床研究的若干设想[J]. 天津中医, 1991(2):2.
- [17] 郑显理, 石水生, 吴咸中. 急腹症的中西医结合研究进展[J]. 中西医结合杂志, 1983(4):253-255.
- [18] 郑显理, 吴咸中. 我国急性胰腺炎的发病特点、诊断和中西医结合治疗[J]. 新医药学杂志, 1975(10):46-48, 51.
- [19] 何清宇, 吴咸中. 中国急腹症治疗学的发展之路[C]// 第七届全国中西医结合普通外科临床及基础研究学术会议论文汇编. 2001:363-366.
- [20] 吴咸中. 中西医结合治疗急腹症的回顾与展望[J]. 中国中西医结合外科杂志, 1996(5):71-73.
- [21] 吴咸中. 急腹症的中医辨证施治[J]. 护士进修杂志, 1986(12):20-21.
- [22] 遵义医学院革命委员会. 中西医结合治疗急腹症[M]. 北京:人民卫生出版社, 1972:106-271.
- [23] 陈志强, 杨文明. 中西医结合内科学[M]. 第四版. 北京:中国中医药出版社, 2021:261-263.
- [24] 陆付耳. 中医临床诊疗指南[M]. 第三版. 北京:科学出版社, 2013:198-210.
- [25] 李灿东. 中医诊断学[M]. 第四版. 北京:中国中医药出版社, 2016:67-92, 154-181.
- [26] 李冀, 连建伟. 方剂学[M]. 第四版. 北京:中国中医药出版社, 2016:72-278.
- [27] 石习敏, 陈娟, 杨均雪, 等. 基于知识图谱的国内外医学数据挖掘研究可视化探析[J]. 中国全科医学, 2017, 20(21):2623-2628.
- [28] 刘峤, 李杨, 段宏, 等. 知识图谱构建技术综述[J]. 计算机研究与发展, 2016, 53(3):582-600.
- [29] 官赛萍, 靳小龙, 贾岩涛, 等. 面向知识图谱的知识推理研究进展[J]. 软件学报, 2018, 29(10):2966-2994.
- [30] 李新霞, 陆建峰, 孟红梅, 等. 本体在中医脾胃病辅助诊断中的应用[J]. 江南大学学报:自然科学版, 2010, 9(2):151-155.
- [31] 杨丽, 周雪忠, 毕澜馨, 等. 基于案例推理的中医临床诊疗决策支持系统[J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2014(3):474-480.
- [32] GALÁRRAGA LA, TEFLIUDI C, HOSE K, et al. AMIE: Association rule mining under incomplete evidence in ontological knowledge bases [M]. In: Proc. of the 22<sup>nd</sup> Int'l Conf. on World Wide Web. New York:ACM Press, 2013:413-422.
- [33] 李荣, 曹顺良, 李园园, 等. 基于语义路径覆盖的 Gene Ontology 术语间语义相似性度量方法[J]. 自然科学进展, 2006, 16(7):916-920.
- [34] 腊志垚, 钱育蓉, 冷洪勇, 等. 基于随机游走的图嵌入研究综述[J]. 计算机工程与应用, 2022, 58(13):1-13.
- [35] 杨丽. 基于知识推理的中医临床诊疗决策支持方法研究[D]. 北京:北京交通大学, 2014:33-34.

[责任编辑 顾雪竹]