

원저

표준 기반의 지식저작 환경을 이용한 고혈압 관리 의사결정지원시스템 지식 모델 평가

김현영¹, 김지현¹, 조인숙², 김 윤^{3,4}

EHR 핵심공통기술연구개발사업단¹, 인하대학교 의과대학 간호학과²,
서울대학교 의과대학 의료관리학교실³, 서울대학교 의과대학 의학연구원 의료관리학연구소⁴

Evaluation of Knowledge Model for a Hypertension Management CDSS Using a Standard-based Knowledge Authoring Tool

Hyun Young Kim¹, Ji Hyun Kim¹, In Sook Cho², Yoon Kim^{3,4}

R&D Center for Interoperable EHR¹,
Dept. of Nursing, School of Medicine, Inha Univ.²,
Dept. of Health Policy and Management, College of Medicine, Seoul National Univ.³,
Institute of Health Policy and Management, Seoul National Univ. Medical Research Center⁴

Abstract

Objective: For the development of interoperable and sharable knowledge-based clinical decision support systems, it is important to evaluate the appropriateness of knowledge in each phase. In this study, an evaluation of early phase's knowledge model for hypertension management was conducted to develop a more precise and useful knowledge model. **Methods:** The knowledge model for hypertension management based on JNC7 was modeled using a knowledge representation tool based on SAGE. Two physicians were involved in evaluating the process of the knowledge model. They reviewed 36 scenarios and made recommendations based on the knowledge model. These recommendations were compared with those derived from the model. **Results:** Eight algorithms and 223 evidence statements were included in the knowledge model. The concordance rate of the recommendations between the physicians and the model for the goal BP were 61% and 93% by the respective physicians. Six scenarios showed low proficiency and efficiency for drug recommendation. Two refinements of the knowledge model were made based on the results. **Conclusion:** The evaluation process of the knowledge model in the early phase provides more precise and useful knowledge model in the next. (*Journal of Korean Society of Medical Informatics 15-4, 445-453, 2009*)

Key words: Clinical Interpretable Guideline, Knowledge Modeling, Evaluation, Hypertension Management

Received for review: August 31, 2009; **Accepted for publication:** December 4, 2009

Corresponding Author: Ji Hyun Kim, R&D Center for Interoperable EHR, Yonghyeon-dong, Nam-gu, Incheon 402-751, Korea

Tel: +82-32-874-8201, **Fax:** +82-32-874-8201, **E-mail:** kijii90@snu.ac.kr

* This study was financially supported by a grant of the Korea Health 21 R&D Project, the Ministry of health & welfare of Korea (A050909)

DOI:10.4258/jksmi.2009.15.4.445

I. 서론

1. 연구 필요성

임상실무지침은 의료영역에서 진료의 질을 높이고 의료진 개인에 따른 진료의 편차를 줄여주며, 비용 감소를 위하여 근거 기반의 지식을 전달하는 도구로서 관심이 증가하고 있다¹⁾. 하지만 종이 기반의 임상실무지침은 대상 질병 및 환자에 관한 보편적인 내용을 포괄하고 있어서, 개별 환자의 상태에 따른 환자 특이적인 적용이 쉽지 않아서²⁾ 실제로 높은 효과를 기대하기 어렵다.

임상의사결정지원시스템은 임상실무지침을 보다 적극적으로 실무에 적용하기 위한 수단 중의 하나이며, 이를 위하여 의료진이 필요로 하는 시점에 의사결정에 필요한 권고와 지식을 보다 효율적으로 제공하기 위해 필요한 기술과 방법에 관한 연구들이 지속되어 왔다. 임상실무지침 기반의 임상의사결정지원시스템을 개발하기 위해서는 서술식 임상실무지침의 지식을 컴퓨터가 이해할 수 있는 형태(Computer Interpretable Guideline, CIG)로 변환하는 것이 반드시 필요하며, 이를 지원하는 PRODIGY, EON, GLIF, SAGE 등의 지식 표현 도구 개발이 이루어졌다. 지식 표현 도구들은 컴퓨터가 추론을 하기 위해 필요한 알고리즘을 생성하고, 단순 규칙, 개념들 간의 관계를 표현할 때에 전산 용어를 사용하지 않고도 의료진이 직접 지식 모델링을 할 수 있는 유용한 환경을 제공하고 있다^{3,4)}.

임상실무지침에는 함축적이며 추상적인 내용이 포함되어 있으므로, CIG로 변환하기 위해서는 함축되어 있는 개념과 지식을 상세화, 구체화하는 과정과 컴퓨터가 추론 기능을 수행할 수 있도록 알고리즘 등의 형태로 표현하는 지식 모델링 과정이 필요하다. 지식 모델링은 단계적이면서 인지적인 과정을 거치게 되고, 알고리즘의 저자들은 개인의 경험과 지식에 근거하는 경향이 존재한다^{5,6)}. 따라서, 모델링 과정에서 오류를 줄이기 위해서는 시스템의 설계 단계부터 평가 계획을 수립하고 단계적인 평가를 수행하는 것이 중요하다⁷⁾.

본 연구는 고혈압 관리 임상실무지침으로서 보편적으로 사용되고 있는 JNC7의 지식을 임상의사결정지

원시스템으로 구현하는 과정에서 수행된 지식 모델의 평가에 관한 것이다. 지식 모델링을 위하여 Protégé에 기반하고 있는 표준 기반의 공유 가능한 가이드라인 환경(Standard-Based Sharable Active Guideline Environment, SAGE)을 변경하여 적용하였고, 고혈압 관리를 위한 초기 지식 모델의 정확성을 평가하고자 수행되었다.

복잡한 권고를 생성하는 의사결정지원시스템 개발에서 지식 모델의 정확성을 평가하는 것은 매우 어려운 과제이다. 평가는 시스템 개발 과정에서 오류를 찾고 수정하고 관리하는 과정을 의미하며, 지식 모델의 평가는 컴퓨터가 실행 가능한 형태로 시스템화하기 이전에 오류를 발견하고 수정할 수 있는 단계로서 중요한 의미를 갖는다. 의사결정지원시스템 개발 과정에서 시나리오를 기반으로 임상 전문가의 'gold standard'와 지식 모델 또는 시스템의 결과를 비교하는 방식의 평가는 오류를 찾고 실제 사용자에게 어떻게 작동하는지를 확인하는 검토 방법으로서 광범위하게 사용되고 있다^{7,9)}.

이에 따라, 본 연구는 지식 표현 도구를 적용하여 고혈압 관리의 지식 모델링을 수행하고 초기 지식 모델의 정확성을 평가함으로써, 지식 모델의 유용성과 정확성을 향상하고자 하였다. 이는 임상실무지침의 전산화 과정에 필요한 지식 모델링의 국내 최초의 사례로서, 향후 다른 영역의 의사결정지원 시스템의 지식 모델링과 평가를 위한 토대를 형성할 것으로 기대한다.

2. 연구 배경

컴퓨터가 이해할 수 있는 가이드라인은 자유로운 형태로 서술된 종이 기반의 지식이 컴퓨터가 자동 추론에 참조할 수 있는 형태로 표현된 지식을 의미한다. 이 과정을 지원하는 지식 표현 도구들은 각각의 관심 영역이나 형식화의 목적에 따라 다른 형태의 표현 방법과 전산적 기술로 구현되었는데, 여기에는 룰 기반¹⁰⁾과 임상실무지침의 질과 완전성을 검토하고 컴퓨터가 해석할 수 있는 형식으로 맵핑하기 위한 마크업 방법들¹¹⁾, 그리고 공통 프로세스에서 시간에 따른 업무를 네트워크 안에 계층적인 임상실무지침의 형태로 표현

하는 업무-네트워크 모델(Task-network model)들까지 다양한 방법으로 시도되었다³⁾¹²⁾. 본 연구에서는 임상 실무지침의 모델링을 지원하는 업무 네트워크 모델에서 Asbru, PRODIGY, EON, GIF, SAGE를 중심으로 고찰하였다(Table 1).

SAGE 가이드라인 모델은 임상 의사결정지원시스템을 임상 업무 흐름에 보다 쉽게 통합하고, 임상 지식의 의미적 상호운용성을 성취하기 위한 기존 연구 성과를 포괄하고 있다. 상호 운용 가능한 시스템을 기관에 적용할 때에는 기관의 데이터를 실무 지침에 맞추는 것보다 기관의 데이터 요소를 표준화된 데이터 모델에 맵핑하는 것이 더 경제적이다⁵⁾, HL7 v3 RIM에 기초한 표준화된 정보 모델과 SNOMED CT, LOINC를 포함하는 참조 용어의 사용은 필수적인 부분이다. 하지만, 일부 지식 모델들은 참조 용어와 데이터 모델과 관련된 표준을 포함하지 않았으며, 이는 CIG를 공유하기 위한 장애 요소가 되어왔다. Asbru는 참조 용어와 표준 정보 모델에 대해 설명하지 않고 있으며, GLIF3는 HL7 v3 RIM을 데이터 모델로 채택하고 통제된 용어체계를 사용하였으나 가이드라인에 의해 요구된 의미의 정확한 모델을 정의하는 기전이 부족하였다. 또 EON¹³⁾, PRODIGY¹⁴⁾ 등의 도구는 환자 와 관련된 정보를 표현하기 위한 구조화된 정보 모델인 가상 의무 기록(vMR, virtual medical record)을 정의하여 사용하였지만¹⁾, 참조 용어나 표준 정보 모델에 기반한 것은 아니었다. 참조 용어체계의 코드와 임상실무지침의 개념을 단순하게 연결하는 것은 지식이 갖는 의미를 충분히 전달하지 못하는 한계가 있으므로, SAGE는 이를 극복하기 위하여 환자 정보 모델로 vMR을 채택하고 HL7-RIM의 데이터 타입을 모델 내로 편입하였으며, SNOMED CT 등의 참조 용어체계로 가이드라인의 개념을 정의할 수 있도록 하였다¹⁵⁾. 임상 의사결정지원시스템의 성공은 그 시스템이 얼

마나 진료과정 업무흐름 내로 자연스럽게 통합되느냐에 의존적이므로 대부분의 임상실무지침 모델링 접근법들도 이 부분을 고려하였다. 그러나, EON, PRODIGY, Asbru 등은 가이드라인 모델이 업무흐름의 맥락과 동떨어지거나, GLIF3는 업무흐름 통합에서 인코딩된 전체 가이드라인의 적용을 보다 중요하게 고려하는 등의 제약 요소를 가지고 있었다. SAGE 가이드라인 모델은 기존 시스템의 업무흐름을 통제하지 않으면서 이벤트-도출(event-driven) 시스템을 사용하여, 진료과정에서 의사결정 지원에 반응하는 업무 흐름의 맥락 즉, 임상 환경, 관계자, 임상적 상태 등 복합적인 조건을 표현할 수 있도록 지원하고 있다¹²⁾¹⁵⁾.

Dunsmuir 등¹⁶⁾은 지식 저장을 위한 도구를 개발할 때에 고려 사항으로 컴퓨터와 관련된 기술은 부족하지만 의지를 가진 어떠한 의료인이라도 지식 베이스 구축이 가능하도록 지원해야 하고, 또한 협력 작업을 고려해야 제안하였다. SAGE는 Protégé 환경에서 지식 표현을 위한 협력 작업이 가능하며, 다른 지식 표현 도구들과 마찬가지로 모델 기반의 접근법을 통하여 임상실무지침에서 제공하는 환자 특이적 권고를 생성하기 위한 의사 결정, 수행되어야 하는 행위, 데이터의 해석, 목표 설정과 같은 과제들을 인스턴스로 생성하여 전산 용어를 알지 못하는 의료진도 지식을 표현할 수 있도록 템플릿을 제공하고 있다¹⁾.

II. 재료 및 방법

본 연구에서 다루는 임상실무지침 지식 모델링의 범위는 전산화 시스템으로 구현하기 위한 지식의 정형화 과정으로, EHR 핵심공통기술 연구개발 사업단의 임상 의사결정지원시스템 연구에서 개발된 고혈압 관리 시범 시스템(LIGHT, Lightning pressure with computer-Implemented Guidelines on Hypertension Treat-

Table 1. Comparison between a few knowledge representation tools

	SAGE	GLIF	EON	PRODIGY	Asbru
Tools	Protégé	Protégé	Protégé	Protégé	AsbruVeiw
Ability to represent	+++	+++	+++	++	++
Standard based data model	+++	+++	++	++	+
Ability to integrate HIS	+++	++	+	+	+
Collaboration	+++	+	+	+	+

ment)에 사용된 지식 내용을 대상으로 한다¹⁷⁾. 미국국립합동위원회의 고혈압의 예방, 발견, 평가, 치료를 위한 미국 국립합동위원회 보고서(The Report of the Joint National Committee on Prevention, Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure, JNC7)¹⁸⁾를 주요 지식원으로 사용하였다.

1. 고혈압 관리를 위한 지식 모델 구축

지식 모델을 생성하기 위한 모델링 과정은 점진적인 과정으로 수행되었으며, 컴퓨터가 이해할 수 있는 형태로의 인코딩을 용이하게 하고, 복잡한 표현으로 인한 의사소통의 혼란을 피하기 위해 일차적으로 Visio[®] 또는 Excel[®]을 사용하여 반 정형화된(semi-formal) 형태로 표현되었다. 그 결과 추출된 지식은 몇 단계의 수정을 거치면서 최소 단위 개념들의 관계를 표현하는 단순 규칙과 의사결정 과정의 흐름을 표현하는 알고리즘으로 정리되었다. 지식 모델에 포함된 의사결정 로직은 목표 혈압 결정, 추후 방문일 결정, 약물 권고, 생활습관 권고, 임상검사 추후 권고이다.

위의 과정을 통해 정의된 알고리즘과 규칙은 의료 기관 간 공유를 목표로 표준 기반의 데이터 모델을 포함하고 있는 Protégé-2000 기반의 SAGE 가이드라인 모델을 보완한 지식 표현 도구를 사용하여 컴퓨터가 이해할 수 있는 정형화된(formal) 형태로 인코딩되었다.

2. 지식 모델의 평가

먼저 지식 모델의 평가는 개념 변수를 무작위로 추출하여 생성한 36개의 시나리오를 사용하였다. 시나리오는 연구팀 내 임상 경험을 가진 의사에 의해 생성되었고, 지식 모델 검증을 위해 필요한 변수인 환자의 인구학적 정보(나이, 성별), 진단명, 병력(동반질환), 임상검사결과 정보, 투약정보, 기타 환자 상태 관련 정보(동반증상)를 포함하고 있다.

지식 평가를 위해서는 ‘Reference standard’로서 서울시내 일개 대학병원에서 가정의학과 수련 과정을 마치고 현재 동일 대학병원에서 전임의로 봉직하고 있는 가정의학과 전문의 2인이 선정되었다. 모델 평

가를 위하여 먼저 전문가들에게 본 연구의 고혈압 관리 가이드라인에 대한 소개와 JNC7 등의 임상실무 지침을 제공한 후, 테스트 시나리오에 대한 권고안을 작성하도록 요청하였다. 각 전문가가 작성한 권고안은 Microsoft Office Access 형태로 제공된 폼에 입력받았다(Fig. 1).

동일한 테스트 시나리오에 대하여 전문가 2인이 제시한 권고안과 지식 모델에서 제시한 권고안을 각 항목별로 비교함으로써 평가를 수행하였다. 지식 모델의 내용 중 목표혈압과 추후 방문일, 그리고 고혈압 관리와 관련된 임상검사 오더와 같이 단순 비교가 가능한 항목은 두 권고안 간의 일치도로 평가하였다. 약물 처방에 대한 권고는 하나의 시나리오에서 제시된 6개 고혈압 약물군(class) 별로 “유지, 추가, 삭제, 증량” 중 한 가지를 선택하도록 하고, 전문가가 제시하는 권고안과 지식 모델의 권고안 간의 일치도를 보기 위하여 사례별로 성능도(proficiency)와 능률도(efficiency)를 계산하였다. 최적화 판명을 위하여 전문가 권고안을 기준으로 모델의 권고가 잘 맞는 경우 +1 (예, 전문가 권고 제거 - 모델 권고 제거), 권고가 맞긴 하지만 최적화 하지 않은 경우 0 (예, 전문가 권고 유지 - 모델 권고 증량), 권고가 틀리거나 위험한 경우 -1 (예, 전문가 권고 제거 - 모델 권고 추가)로 점수를 매긴 다음, 각 아이템별 점수에 기반하여 성능 점수와 능률 점수가 계산되었다⁹⁾¹⁹⁾. 성능도는 전문가의 권고와 모델 권고안의 비교에서 얻은 점수의 대수합 점수를 최적화 점수(+1의 총 개수)로 나눈 후, 100

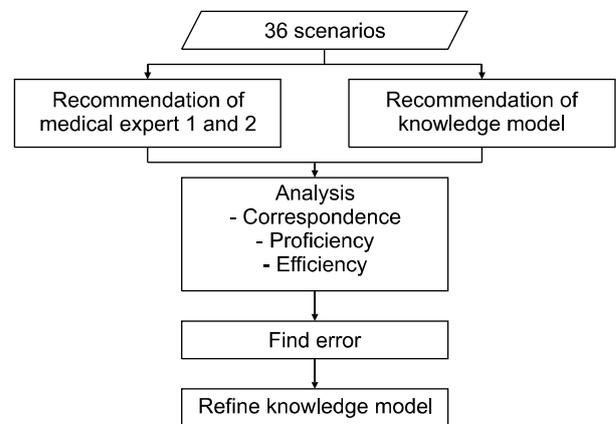


Figure 1. Process for evaluation of knowledge model

을 곱하여 백분율을 구한 값으로 권고 내용의 적합성을 평가하는 지표이다. 낮은 성능도는 성능이 취약하거나 또는 스코어링의 결함 가능성을 시사한다¹⁹⁾. 능률도는 선택된 '+1'의 개수를 선택이 되어야 하는 총 개수(+1, -1, 0의 총 개수)로 나눈 후, 백분율을 구한 값으로 약물 권고가 적합한 개수의 비율을 평가하는 지표이다. 각 권고안의 일치도 및 성능도와 능률도는 서술 통계로 분석하였다.

성능도와 능률도가 모두 낮게 나온 시나리오들은

Table 2. Example of proficiency and efficiency

		Score
Senario 1	Thiazide	1
	DHP-CCB	-1
	NDHP-CCB	0
	BB	0
	ACEi	1
	ARB	1
	Proficiency (%)	2/3 (67%)
Efficiency (%)	3/6 (50%)	

DHP-CCB: dihydropyridine calcium channel blocker, NDHP-CCB: non dihydropyridine calcium channel blocker, BB: beta blocker, ACEi: angiotensin converting enzyme inhibitor, ARB: angiotensin II receptor blocker

이유를 분석하여, 전문의들과 의사결정의 차이가 발생하는 원인을 찾았다. 시나리오 상의 오류가 아니라 지식 모델에 오류가 있는 경우에는 지식 모델에 반영하여 정제하였다(Table 2).

$$\text{성능도 (Proficiency)} = \frac{\text{Algebraic sum of '+1' and '-1'}}{\text{Total number of '+1'}} \times 100$$

$$\text{능률도(Efficiency)} = \frac{\text{Number of '+1'}}{\text{Total number of choices}} \times 100$$

III. 결과

1. 고혈압 관리를 위한 지식 모델

고혈압 관리를 위한 알고리즘과 상세 규칙은 SAGE 가이드라인 모델에서에서 클래스와 템플릿으로 정의한 Activity graph 클래스와 Expression의 8개 클래스, 구조화된 진술문을 표현할 수 있는 Evidence Statement 클래스를 사용하였다. 표준 정보 모델로서 vMR의 4개 클래스가 사용되었다.

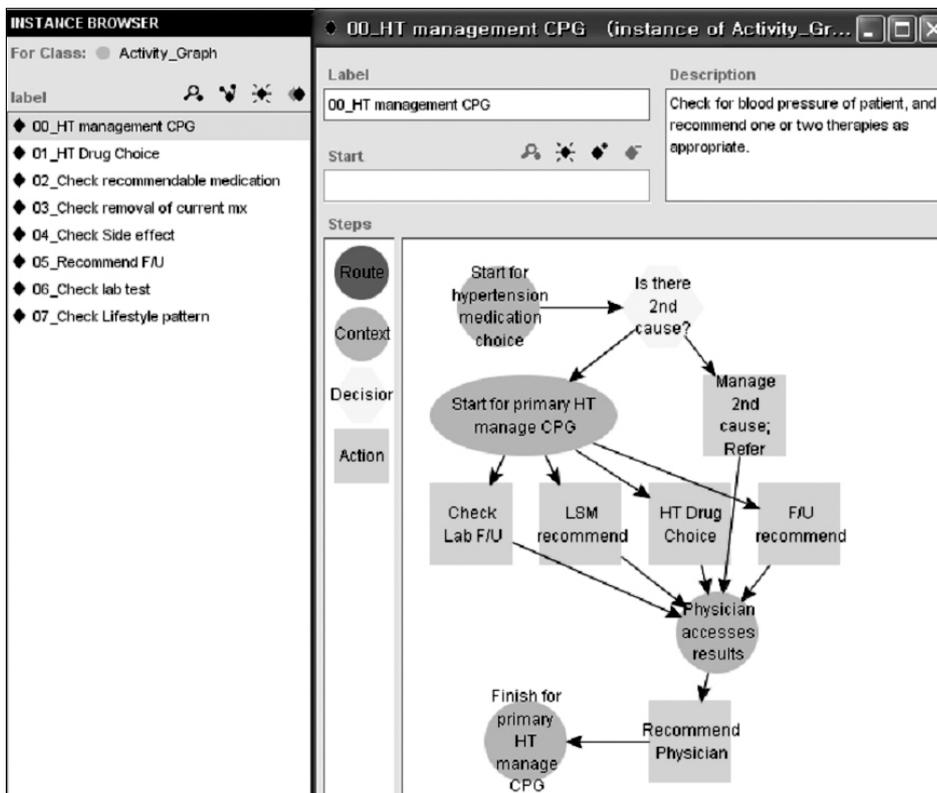


Figure 2. An Activity graph specifying hypertension management to decision-support opportunities in the main clinical workflow

전체 고혈압 관리 업무흐름을 표현하는 메인 알고리즘(Fig. 2의 00_HT management CPG)은 SAGE 가이드라인 모델의 Recommendation set을 구성하는 context, decision, action, route 노드를 사용하여 업무 흐름으로 통합되도록 상황을 정의하고 의사결정의 흐름을 제어하였다. 고혈압 관리의 약물 처방 등 세부 권고를 위한 알고리즘(Fig. 2의 01-07)은 서브가이드라인의 형태로 각 action 노드에 연결되어 표현되었다.

Evidence Statement 클래스는 개별 환자에 따른 적절한 약물 선택을 위한 6개 약물군과 132개의 환자 진단 또는 문제 목록들 간의 5가지 관계(compelling indication, relative indication, relative contraindication, absolute contraindication, side effect)를 표현한 것으로서 223개의 진술문으로 인코딩되었다(Fig. 3).

Evidence Statement에 정의된 조건이 해당 환자에게 적용되는지 여부를 판단할 수 있도록 실제 전자 의무 기록과 연결할 수 있는 구조를 제공하기 위하여 표준 정보 모델인 vMR을 활용하였고, 지식에서 정의된 개념은 SNOMED CT 등의 참조 용어체계를 사용하여 정의하였다(Fig. 4).

2. 지식 모델의 평가

지식 모델 평가는 목표 혈압 설정, 추가 방문 예약, 검사 처방과 약물 처방의 4가지 범주로 나누어 분석하였다. 첫째, 목표 혈압은 현재 복용 중인 약물의 용

량 결정에 필요한 참고 기준으로서, 목표 혈압 기준에 대해서는 지식 모델의 권고와 각 전문가의 권고가 각각 61%, 92%가 일치하였다. JNC7에서는 당뇨가 동반되지 않은 환자의 목표 혈압은 140/90으로 제시하고 있다. 그러나, 시나리오에서 혈압이 140/90과 같이 기준점에 있는 경우에 전문가들은 환자의 동반 질환 유무에 따라 목표 혈압이 잘 유지되는 상태로 평가하기도 하고, 목표 혈압이 유지되지 않는 상태로 평가하기도 하였다. 추후 방문 예약은 일치도가 가장 낮았으며, 각 전문가에 따라 36%와 33%의 일치도를 보였다. 당뇨가 있고 혈압이 stage 2 (150/90 mmHg 이상)에 해당하는 경우에 JNC7에 따른 지식 모델에서는 1주일 후에 추후 방문 할 것을 권고한다. 그러나, 전문가들은 해당 환자에게 당뇨 이외에 동반 질환이 없고 검사 결과에 특이한 이상 소견이 없는 경우, 추후 방문을 4주 또는 더 길게 권고하였다.

검사 처방은 지식 모델링의 권고 내용이 전문가와 검사 항목에 따라 일치도가 61.1%-100% 범위의 다양한 차이를 보였다. JNC7에서는 최소한 1년 1회 이상은 시행할 것을 권고하는 검사 항목을 제시하고 있다. 전문가들은 이 검사 항목들에 대하여 더 자주 검사를 시행하는 사례도 있는데, 예를 들어, 당뇨병 신증후군 동반 질환을 가진 환자의 경우에는 혈청 크레아티닌 검사는 6개월 만에 재시행하도록 권고하였다. 일부 시나리오에서는 마지막 검사 이후 18개월이 지났으나, 전문가가 검사의 재시행을 권고하지 않는 사례가

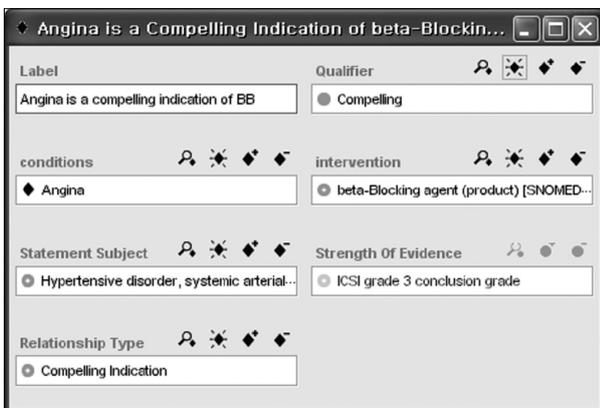


Figure 3. An instance of a Evidence Statement encoded 'In the hypertension management, presence of angina is a compelling indication for beta blocking agent.'

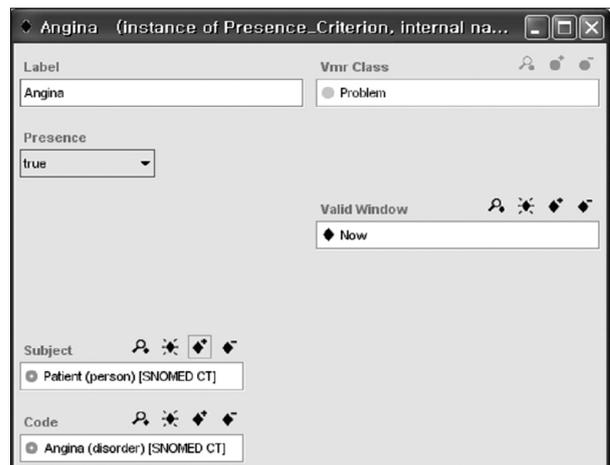


Figure 4. An instance of a Presence_Criterion encoded presence of angina on EMR

있었다.

각 사례별 각 전문가들이 권고하는 각 고혈압 약물의 권고 내용에 따라 성능도와 능률도를 산출하여 최적화 정도를 평가한 결과는 Table 2와 같다. Table 2에서 성능도가 '-100'으로 적절하지 않은 것으로 나타난 1개의 사례는 공인되지 않은 약자를 사용한 경우로서 시나리오의 불완전성에 기인한 것이었다 (Table 3).

최적화 점수가 가장 낮게 나타난 5개 시나리오를 분석한 결과, 지식 모델과 전문가의 권고의 차이는 약물 선택의 조건에 연령이 미치는 영향에 대한 차이로

나타났다. 전문가들은 나이의 영향력을 다른 동반 질환 등에 비하여 이차적인 요소로 평가하였으나, 지식 모델에서는 나이와의 관련성이 우선적으로 평가되는 경우가 있었다.

IV. 고찰

임상실무지침에 기초한 전산 시스템이 제공해야 하는 기능은 다섯 가지로 요약할 수 있다. 의사결정 지원, 하나의 의사결정 이후 수행되어야 하는 행위와 또는 연속적인 또 다른 의사 결정을 구조화한 임상 알고리즘, 목표 설정, 데이터의 해석, 개념과 관계에 따라 추상적 중재를 구체적 중재로 정의하는 정제의 기능이다²⁰⁾. 이러한 기능을 수행하는 전산 시스템이 종이 기반의 실무 지침을 이해하고 실행하기 위해서는, 종이 기반의 지식을 컴퓨터가 실행하는 있는 지식으로 변환하는 지식 모델링이 필수적인 과정이다. SAGE 가이드라인 모델을 이용하여 컴퓨터가 이해 가능한 가이드라인으로 표현하는 인코딩 과정은 전산전문가가 아닌 의료전문가로서의 지식 엔지니어가 의료 지식을 표현하기에 용이한 방법으로 평가된다. 이는 추후 가이드라인 지식을 관리하고 수정하는 데에도 많은 이점을 제공할 것으로 사료된다. 고혈압 관리 지식 모델링에 참여한 인원은 보건소 근무 경력을 가진 일반의와 임상 경력을 가진 간호사들로서, 실무 지침의 전산화에 필요한 명제와 질의어 등을 표현할 수 있는 전산 언어를 직접 사용하지 않고 전산화된 지식 표현이 가능하였다. 상세화된 실무 지침 지식을 전산 프로그래머가 아닌 임상 전문가가 수행할 때의 이점은 지속적으로 변화하는 임상실무지침 지식의 변경이 발생하였을 때, 수정과 관리가 용이하다는 것이다. 더불어, 인코딩 과정에서 지식이 모호하다거나 원 지식과의 차이가 있을 때, 발견과 교정이 가능하다는 것이다⁸⁾.

본 연구의 고혈압 관리 지식 모델에는 6개 약물 클래스와 환자 상태를 표현하는 132개의 문제 목록을 대상으로 223개의 관계 진술문이 포함되어 있다. 본 연구와 유사하게 JNC6에 기반하여 Veterans affair에서 개발한 ATHENA-HTN 시스템의 지식 모델은 고혈압 관리 약물 13개 클래스와 환자 상태를 표현하는

Table 3. Proficiency and efficiency scores for each scenarios

No	Proficiency (%)		Efficiency (%)	
	Expert 1	Expert 2	Expert 1	Expert 2
1	0	100	17	67
2	100	100	33	100
3	0	100	0	67
4	50	100	33	100
5	0	50	17	33
6	100	100	33	33
7	100	0	17	17
8	0	100	0	17
9	50	100	33	33
10	100	100	33	33
11	100	100	33	33
12	100	100	33	50
13	100	67	17	50
14	100	100	33	33
15	100	100	67	33
16	50	0	33	17
17	100	100	50	33
18	100	100	33	50
19	100	100	17	33
20	100	100	67	67
21	100	100	33	33
22	0	0	17	0
23	50	0	33	17
24	100	0	17	0
25	50	67	33	50
26	67	75	50	67
27	100	100	17	17
28	100	100	17	17
29	50	0	33	17
30	0	50	0	33
31	100	0	50	0
32	100	-100	67	17
33	100	100	17	67
34	0	50	0	33
35	100	100	17	33
36	100	100	17	33

개념 82개 사이의 관계를 표현한 진술문 163개로 구성되었다. 이 시스템을 실무에 적용하기에 앞서 지식 모델을 평가하기 위하여 테스트 케이스를 기반으로 전문가와 시스템의 약물 권고에 차이를 분석하였고, 시스템이 보다 완성적인 권고를 제공하는 케이스, 규칙이 불명확한 케이스, 인코딩되지 않은 규칙의 유형에 따른 차이를 찾아내었고, 추후 지식 모델에 반영하였다⁸⁾. 이와 같이 시나리오를 통한 지식의 검증은 초기 단계의 지식 모델의 정확성을 평가하고, 오류를 찾고 개선하여 보다 임상 상황에 적절하도록 변경하기 위해 필수적인 과정이다.

복잡한 권고를 생성하는 임상실무지침의 평가는 Reference Standard를 설정하는 것이 필요하다. 모든 임상 전문가들은 주어진 정보를 종합하거나 또는 어떠한 정보를 더 중요하게 생각하느냐에 서로 다른 권고를 생성하게 되므로, 지식 모델의 평가를 위해서는 많은 전문가가 참여하여 소수의 임상 시나리오를 적용하는 것보다는 많은 임상 시나리오를 사용하여 적은 수의 전문가가 참여할 것을 권고하고 있다²¹⁾. 본 연구의 지식 모델 평가를 위하여 가정의학과 전문의 2명이 참여하였고, 평가 결과에 따라 크게 두 가지 측면에서 지식 모델을 수정하였다. 첫째, 고혈압 약물의 추가 또는 증량이 필요한 환자의 목표 혈압으로 JNC7에서 140/90 mmHg를 기준으로 제시하고, 지식 모델에는 모든 환자에게 동일하게 기준을 적용하였다. 전문가들은 환자의 동반 질환 유무에 따라 같은 수치의 혈압 상태일 지라도 목표 혈압이 잘 유지되는 상태로 평가하기도 하고, 목표 혈압이 유지되지 않는 상태로 평가하기도 하였다. 가하기도결과를 반영하여 환자에 따른 목표 혈압은 환자의 혈압 변화의 추이와 동반 질환 등에 따라 진료 환자가 직접 설정할 수 있도록 변수화하는 것으로 모델을 변경하였다. 둘째, 고혈압 약물 권고의 적절성을 평가한 지식 모델의 최적화 점수가 낮게 나타난 사례 분석에서, 지식 모델과 전문가의 차이가 발생한 원인은 약물 선택의 조건에 연령이 미치는 영향력에 대한 판단의 차이였다. 차이를 분석하기 위하여 임상실무지침을 재검토하였으며, 전문가의 의견을 반영하여 연령은 약물 처방에 관한 권고에서는 환자가 가진 문제 목록보다 이차적인 선택 기준으로 작용하도록 지식모델을 변경하였다.

ATHENA-HTN 의사결정지원시스템을 임상에 적용하여 의료진들이 얼마나 권고에 순응하는가를 분석한 연구 결과에서, 약물의 중단 권고를 그대로 받아들인 경우는 33.5%, 약물의 추가에 대한 권고는 4.0%, 전체적으로 권고를 받아들인 경우는 1.2%로 낮게 나타났으나, ATHENA-HTN에서 권고하는 목표 방향에 대해서는 일치하는 비율이 높게 나타났다²²⁾. 이와 유사하게 본 연구에서도 목표 혈압보다 혈압이 높게 측정되어, 새로운 약물의 추가를 권고하는 경우에 평가에 참여한 전문가들은 혈압을 낮추기 위하여 적절한 중재가 필요하다는 것에는 동의하였다. 하지만, 권고된 약물을 추가하는 것은 기존 복용 약물에 대한 순응도 등 혈압 상승 요인을 파악한 이후에 결정하는 것으로 나타났다. 평가에 참여한 의료 전문가들과의 평가 후 인터뷰에서 이러한 신념은 임상실무지침의 권고에 앞서는 것으로 나타났고, 평가 결과에 영향을 미치는 요인이 되었다. 가장 일치율이 낮은 결과를 나타난 추후 방문 시기에 대한 권고는 임상 전문가들이 추후 방문 기간에 대한 임상실무지침의 권고를 따르지 않은 사례들이었다. 모든 사례에서 임상실무지침에서 권고하는 기간보다 길게 추후 방문 일정을 제시하였다. 이러한 결과는 동일한 기관에서 수련을 받고 진료를 하고 있는 2명의 전문가를 대상으로 평가를 수행한 본 연구의 제한점이라 할 수 있다.

임상의사결정지원시스템의 개발은 지식획득, 지식 표현, 구현, 평가로 이어지는 연속적이고 순환적인 과정이다. 본 연구는 이 순환적인 과정의 초기 단계인 지식 획득과 지식 표현 및 평가에 관한 연구로서, 종이 기반의 실무 지침을 컴퓨터가 이해할 수 있는 가이드라인으로 변환하는 과정을 자세히 소개하였다. 더불어, 복잡한 권고를 생성하는 지식을 평가하는 것은 해당 지식의 임상 전문가의 참여가 필수적이며, 지식 모델링 단계에서 오류를 찾고 지식을 정제하는 과정의 중요성을 확인할 수 있었다. 임상실무지침을 전산화하는 과정에 초점을 두고 수행된 본 연구는 향후 의료 분야의 실무 지식을 전산화하고자 할 때 참조할 수 있는 일 사례로서 시사점을 제공할 것으로 기대한다.

참고문헌

1. Tu SW, Campbell JR, Glasgow J, Nyman MA, McClure R, McClay J, et al. The SAGE guideline model: achievements and overview. *J Am Med Inform Assoc* 2007;14:589-598.
2. Peleg M, Tu SW, Bury J, Ciccarese P, Fox J, Greenes RA, et al. Comparing computer-interpretable guideline models: a case-study approach. *J Am Med Inform Assoc* 2003;10(1):52-68.
3. Kaiser K, Miksch S. Modeling computer-supported clinical guidelines and protocols. Vienna University of Technology; 2005.
4. Tu SW, Campbell JR, Musen MA. SAGE guideline modeling: motivation and methodology. *Stud Health Technol Informm* 2004;101:167-171.
5. Peleg M. Guidelines and workflow models. In : Greenes R, editor. *Clinical decision support; The road ahead*. 1st ed. Oxford UK:Academic Press;2007. pp. 281-306.
6. Peleg M, Gutnik LA, Snow V, Patel VL. Interpreting procedure form descriptive guidelines. *J Biomed Inform* 2006;39:184-195.
7. Sailors RM, East TD, Wallace DJ, Carlson DA, Franklin MA, Heermann LK, et al. Testing and validation of computerized decision support systems. *Proceedings of the AMIA Annual Symposium* 1996; 234-238.
8. Martins SB, Lai S, Tu SW, Shankar R, Hastings SN, Hoffman BB, et al. Offline testing of the ATHENA hypertension decision support systems knowledge base to improve the accuracy of recommendations. *Proceedings of the AMIA Annual Symposium* 2006:539.
9. Choj J, Bakken S. Creation of a gold standard for validation of a computer-interpretable depression screening guideline. *Stud Health Technol Inform* 2006;122:95-99.
10. Jenders RA, Corman R, Dasgupta B. Making the standard more standard: a data and query model for knowledge representation in the Arden syntax. *Proceedings of the AMIA Annual Symposium* 2003; 323-330.
11. Shiffman RN, Michel G, Essaihi A, Thornquist E. Bridging the guideline implementation gap: a systematic, document-centered approach to guideline implementation. *J Am Med Inform Assoc* 2004;11(5): 418-426.
12. Peleg M, Boxwala AA, Tu SW, Zeng Q, Ogunyemi O, Wang D, et al. The InterMed approach to sharable computer-interpretable guidelines: a review. *J Am Med Inform Assoc* 2004;11:1-10.
13. Musen MA, Tu SW, Das AK, Shahar Y. EON: a component-based approach to automation of protocol-directed therapy. *J Am Med Inform Assoc* 1996;3(6): 367-388.
14. Johnson PD, Tu SW, Booth N, Sugden B, Purves IN. Using scenarios in chronic disease management guidelines for primary care. *Proceedings of the AMIA Annual Symposium* 2000;389-393.
15. Boxwala AA, Peleg M, Tu SW, Ogunyemi O, Zeng QT, Wang D, et al. GLIF3: a representation format for sharable computer-interpretable clinical practice guidelines. *J Biomed Inform* 2004;37(3):147-61.
16. Dunsmuir D, Daniles J, Brouse C, Ford S, Ansermino JM. A knowledge authoring tool for clinical decision support. *J of Clinical Monitoring and Computing* 2008; 22:189-198.
17. Cho I, Kim J, Lee E, Kim S, Lee J, Kim Y. Approach to the requirements of a decision support system for hypertension management in a health center, *J Kor Soc Med Informatics* 2007;13(3):259-269.
18. The seventh report of the joint national committee on prevention, detection, evaluation, and treatment of high blood pressure, JNC7. National Institutes of Health; 2004.
19. Henry SB, Lebreck DB, Holzemer WL. The effect of verbalization of cognitive processes on clinical decision support making. *Res Nurs Health* 1989;12(3): 187-193.
20. Tu SW, Musen MA. Representation formalism and computational methods for modeling guideline-based patient care. *Proceedings of the First European Workshop on Computer-based Support for Clinical Guidelines and Protocols*; 2000. pp.115-132.
21. Mumpower JL, Stewart TR. Expert judgement and expert disagreement. *Thinking and Reasoning* 1996; 2(2/3):191-211.
22. Chan AS, Coleman RW, Martins SB, Advani A, Musen MA, Bosworth HB, et al. Evaluating provider adherence in a trial of a guideline-based decision support system for hypertension. *MedInfo 2004: Proceedings of the 11th World Congress on Medical Informatics*. Amsterdam; Netherlands: 2004. pp.125-129.