



전자건강기록 데이터 기반 욕창 발생 예측모델의 개발 및 평가

박슬기¹ · 박현애¹ · 황 희²

¹서울대학교 간호대학 · 간호과학연구소, ²분당서울대학교병원 소아청소년과

Development and Evaluation of Electronic Health Record Data-Driven Predictive Models for Pressure Ulcers

Park, Seul Ki¹ · Park, Hyeoun-Ae¹ · Hwang, Hee²

¹College of Nursing · Research Institute of Nursing Science, Seoul National University, Seoul

²Department of Pediatrics, Seoul National University Bundang Hospital, Seongnam, Korea

Purpose: The purpose of this study was to develop predictive models for pressure ulcer incidence using electronic health record (EHR) data and to compare their predictive validity performance indicators with that of the Braden Scale used in the study hospital. **Methods:** A retrospective case-control study was conducted in a tertiary teaching hospital in Korea. Data of 202 pressure ulcer patients and 14,705 non-pressure ulcer patients admitted between January 2015 and May 2016 were extracted from the EHRs. Three predictive models for pressure ulcer incidence were developed using logistic regression, Cox proportional hazards regression, and decision tree modeling. The predictive validity performance indicators of the three models were compared with those of the Braden Scale. **Results:** The logistic regression model was most efficient with a high area under the receiver operating characteristics curve (AUC) estimate of 0.97, followed by the decision tree model (AUC 0.95), Cox proportional hazards regression model (AUC 0.95), and the Braden Scale (AUC 0.82). Decreased mobility was the most significant factor in the logistic regression and Cox proportional hazards models, and the endotracheal tube was the most important factor in the decision tree model. **Conclusion:** Predictive validity performance indicators of the Braden Scale were lower than those of the logistic regression, Cox proportional hazards regression, and decision tree models. The models developed in this study can be used to develop a clinical decision support system that automatically assesses risk for pressure ulcers to aid nurses.

Key words: Pressure Ulcer; Electronic Health Records; Patient Safety; Data Mining

서 론

1. 연구의 필요성

욕창은 병원에서 발생하는 가장 심각한 환자안전 문제 중 하나로

사망률을 높이고, 재원기간을 늘리며, 높은 의료비 발생으로 환자뿐 아니라 병원의 재정적 부담을 가중시킨다[1]. 미국의 메디케어 환자 안전 모니터링 시스템 연구(National Medicare Patient Safety Monitoring System Study)에 의하면 입원기간 동안 욕창 발생률이 4.5%

주요어: 욕창, 전자건강기록, 환자안전, 데이터 마이닝

* 이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2018R1A2A2A05022021).

* This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science and ICT (NRF-2018R1A2A2A05022021).

Address reprint requests to : Park, Hyeoun-Ae

College of Nursing, Seoul National University, 103 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul 03080, Korea

Tel: +82-2-740-8827 Fax: +82-2-765-4103 E-mail: hapark@snu.ac.kr

Received: February 14, 2019 Revised: June 21, 2019 Accepted: July 22, 2019

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NoDerivs License. (<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0>)

If the original work is properly cited and retained without any modification or reproduction, it can be used and re-distributed in any format and medium.

에 달하며, 욕창 환자의 입원기간 내 사망률과 퇴원 후 30일 이내 사망률이 비 욕창 환자보다 약 3배 이상 높고, 입원기간은 2배 이상 길다[2]. 미국 의료연구 및 품질 기관(Agency for Health care Research and Quality)에서는 매년 발생하는 약 250만 욕창 환자 치료에 91~116억 달러의 의료비용이 발생한다고 보고하였다[3]. 우리나라의 경우 입원환자의 욕창 발생률과 치료 비용에 대한 국가 통계는 집계되지 않고 있으나 욕창 발생률이 급성기 병원의 경우 전체 입원 환자의 0.8% [4], 중환자실의 경우 전체 입실환자의 14.3% [5], 노인 요양병원의 경우 전체 입원환자의 8.9% [6]에 달한다.

욕창 발생의 직접적인 원인은 피부와 피하조직에 장시간 지속적으로 가해지는 압력이지만 다양한 내외적 요인들이 상호작용하면서 욕창 발생에 영향을 미친다. 욕창의 발생 위험은 고령, 흡연, 저혈압, 당뇨, 운동성 제한, 활동성 저하, 의식 장애, 감각인지 장애, 영양 결핍, 낮은 알부민, 피부 습기, 피부 손상, 수술, 호흡기 치료, 강심제 투약, 위장관 튜브 보유 환자일수록 더 높다[7,8]. 의료기관에서는 욕창을 예방하기 위해 환자의 입원 시점부터 욕창 위험 사정도구를 이용하여 고위험군을 선별한 후 예방적 중재를 제공하고 있다. 욕창 위험도를 사정하는 도구로는 Norton Scale, Waterlow Scale, Cubbin & Jackson Scale, Gosnell Scale, Braden Scale 등이 있는데, 이 도구들은 항목별로 다른 가중치를 가진 5~11개 항목으로 구성되어 있다[9].

이 욕창 위험 사정도구들이 욕창 발생을 정확하게 잘 예측하는지에 대해서는 지속적인 의문이 제기되고 있다. 현재 임상에서 많이 사용되고 있는 대표적인 욕창 위험 사정도구인 Norton Scale, Braden Scale, Waterlow Scale의 예측타당도를 평가한 전향적 코호트 연구 [10]에 의하면 이 세 도구의 area under the receiver operating characteristics curve (AUC)값이 각각 0.56, 0.55, 0.61로 모두 매우 낮았다. 이와 같이 예측타당도가 낮은 것은 욕창 위험 사정도구들이 유용한 항목은 포함하지 않고 불필요한 항목을 포함하고 있거나 포함된 항목들이 일관성 있게 측정되지 않고 있기 때문으로 여겨진다[9]. 특히 국제적으로 가장 널리 사용되고 있는 Braden Scale의 예측타당도를 평가한 다양한 연구에서 Serpa와 Santos [11]는 Braden Scale의 세부항목 중 간호사가 주관적으로 측정하는 영양은 욕창 발생에 유의한 관계가 없는 것으로 나타났으며, 객관적인 지표인 혈청 알부민 수치가 욕창 발생을 예측하는데 매우 유의한 요인으로 낮은 알부민 수치는 정상 알부민 수치보다 욕창 발생 가능성을 5.2배 높인다고 보고하였다. Skogestad 등[12]은 혈청 알부민과 같은 혈액검사 결과와 환자가 보고하는 증상, 예를 들어 휴식 시 심한 통증 또는 배뇨 문제와 같은 요인을 욕창 위험을 사정할 때 보완적으로 사용할 것을 주장하였다.

의료기관에서 욕창 발생 위험 사정은 일반적으로 입원 시 처음 이

루어지며, 입원기간 동안 환자 중증도에 따라 매일 혹은 1주일에 2~3회씩 이루어진다. 간호사들은 Braden Scale의 6가지 항목을 주관적 판단으로 전자건강기록(Electronic Health Records)의 '욕창발생위험평가' 기록지에 별도로 기록한다. 따라서 여러 간호사들이 욕창 위험도를 측정할 경우 측정자간 신뢰도, 측정의 일관성 문제가 발생할 수 있다[13]. 또한 환자의 진단, 치료, 간호 과정에 이미 수집하여 전자건강기록에 기록되어 있는 데이터를 별도의 시간과 노력을 들여 다시 수집하고 기록함으로써 업무의 비효율성이 발생한다.

이러한 욕창 위험 사정도구의 낮은 예측타당도와 신뢰도, 비효율적인 사정 방법에 대한 해결책의 대표적인 예로 임상에서 환자 진료, 간호 과정을 통해 수집하여 전자건강기록에 기록한 데이터를 활용하는 방법이 있다[14]. 전자건강기록에 축적된 데이터를 이용하여 욕창 발생 위험요인을 규명하여 예측모델을 개발하고, 개발된 예측모델을 실무에서 적용하여 욕창 발생 위험을 예측하는 다양한 시도를 살펴보면, Hatanaka 등[15]은 전자건강기록에서 추출한 혈액검사 결과, 성별, 연령을 포함한 욕창 발생 예측모델이 Braden Scale보다 예측타당도가 더 높음을 보여주었으며, Cho와 Chung [16]은 중환자실 간호기록과 간호일지에 입력된 데이터를 이용하여 개발한 욕창 발생 예측모델의 AUC값이 0.85 이상으로 높은 예측타당도를 보여주었다. 이처럼 환자의 진료, 간호 과정에서 수집하여 기록한 데이터를 간호사들의 의사결정에 활용할 수 있다면, 불필요한 데이터 수집과 기록을 줄여 간호 업무의 효율성을 높일 수 있을 뿐 아니라 실무에서 추출한 근거를 활용하여 간호의 질을 증진시킬 수 있다[17].

하지만 욕창을 예측하는 데 전자건강기록 데이터를 활용하는 것은 쉽지 않다. 환자의 욕창 발생과 관련된 요인들은 다양한 시점에 다양한 형태로 수집되어 다양한 서식지에 기록되어 있다. 예를 들어 환자의 통증은 입원기간의 여러 시점에 평가한 통증 정도를 0에서 10까지 숫자 데이터로 임상관찰기록지에 기록될 수도 있고, “통증 있음”, “통증 호소함”과 같은 간호 진술문으로 간호기록지에 기록될 수도 있다. 따라서 여러 시점에 다양한 형태로 수집되어 여러 서식지에 기록된 전자건강기록 데이터를 활용하려면 데이터를 통합하는 것이 중요하다. 앞에서 소개한 예측모델 개발 연구에서처럼 특정 시점(예, 입원 시)에 수집하여 특정 서식지에 정형화된 형태로 기록된 데이터를 추출하여 활용하면 많은 결측값이 발생할 수 있으며, 실시간으로 변하는 환자의 상태를 반영하지 못하는 문제점을 안고 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 다양한 시점에 다양한 형태로 수집하여 다양한 서식지에 기록한 환자 상태를 가장 잘 반영하는 데이터를 연구에 이용하는 방법이 필요하다.

이러한 배경 하에 본 연구에서는 전자건강기록 데이터를 추출, 통

합, 분석하여 로지스틱 회귀, 콕스 비례위험 회귀, 의사결정나무를 사용한 욕창 발생 예측모델을 개발하고, 개발된 세 종류의 모델들과 연구대상 병원에서 현재 사용되고 있는 욕창 위험 사정도구인 Braden Scale의 예측타당도를 비교하고자 한다. 로지스틱 회귀는 보건 의료분야에서 범주형 사건과 관련된 위험 요인을 찾을 때 가장 많이 사용되는 분석방법으로서, 모델을 구축하기가 상대적으로 쉽고 예측 능력이 탁월하여 위험도를 예측하는데 널리 사용되고 있다[18]. 콕스 비례위험 회귀 역시 로지스틱 회귀처럼 범주형 사건과 관련된 위험 요인을 찾는 다변량 분석방법으로 '사건 발생까지 시간(time-to-event)'과 '사건 발생 여부'를 함께 고려하여 사건 발생에 영향을 미치는 위험요인을 찾는 방법이다[19]. 의사결정나무는 데이터 마이닝 기법 중 하나로 의사결정규칙을 도표화하여 관심대상이 되는 집단을 위험요인에 따라 몇 개의 소집단으로 분류하여 예측하는 분석 방법으로, 분석 방법이 단순하고 분석결과가 나무 구조로 표현되어 있어 직관적으로 이해하기 쉽다[20]. 욕창 발생과 관련된 위험요인을 전자건강기록에서 추출하여 이들 세가지 분석 방법을 활용하여 개발한 욕창 발생 예측모델은 앞으로 임상에서 실시간으로 환자의 욕창 발생 위험을 예측해 주는 임상 의사결정지원시스템으로 활용될 수 있을 것이다.

연구 방법

1. 연구 설계

본 연구는 전자건강기록 데이터를 이용하여 욕창 발생 예측모델을 개발하고 평가하는 후향적 사례군-대조군 연구이다.

2. 연구 대상

본 연구는 일개 3차 의료기관의 욕창 발생 상위 6개 병동인 신경과, 신경외과, 중양내과, 혈액종양내과 병동에 2015년 1월부터 2016년 5월까지 1년 5개월 동안 입원한 18세 이상 성인 환자 중 입원 당시 욕창이 없는 환자 전체를 연구 대상으로 하였다. 연구 기간 동안 2회 이상 입원한 경우 개별 입원을 독립 사례로 간주하였다. 욕창 발생군은 욕창발생보고서를 통해 입원 후 욕창이 발생한 환자로 확인된 환자, 욕창 비발생군은 입원기간 동안 욕창이 발생하지 않은 환자로 정의하였다. 입원기간 동안 Braden Scale 점수가 존재하지 않는 575건은 제외하여, 총 15,482건 중 14,907건(욕창 발생군 202건, 욕창 비발생군 14,705건)을 분석에 사용하였다.

3. 자료 수집 도구 및 요인

욕창 발생군과 욕창 비발생군의 일반적 특성(나이, 성별, 재원기간, 입원 경로)은 초기 간호정보조사지와 퇴원기록지에서 수집하였

고, Braden Scale 세부항목별 점수와 총 점수는 욕창발생위험 평가지에서 수집하였다. 욕창 발생군의 욕창 관련 특성인 욕창 발생 시기, 발생 부서, 발생 부위는 욕창발생보고서에서 수집하였다. 욕창 발생과 관련된 요인은 초기 간호정보조사지, 임상관찰기록지, 간호활동지, 중증도분류기록지, 간호기록지, 임상검사결과지, 수술기록지, 의사 의무기록지 등 8개 서식지에서 수집하였다.

욕창 발생 관련 요인은 문헌고찰을 통해 파악한 95개의 요인 중, 전자건강기록에서 추출 불가능한 요인(예, 주위환경 온도 증가)과 전자건강기록에서 출현 빈도가 0.1% 이하인 요인(예, 진단명 중 패혈증, 마약 중독 등)을 제외한 후 총 51개의 요인을 선정하였다. 51개의 욕창 관련 요인은 포함된 항목 수, 기록된 형태, 기록된 서식지 수, 기록된 횟수에 따라 다음과 같이 다섯 개 그룹으로 분류하였다.

첫 번째는 단일 항목으로 구성된 요인으로 입원기간 동안 한 번만 수집한 후 한 가지 형태로 한 서식지에 기록하는 성별, 입원 경로 등이 포함된다. 예를 들어 입원 경로는 입원 초기에 한 번 조사하여 초기 간호정보조사지에 기록한다. 이들 요인은 해당 값에 그대로 분석에 활용하였다.

두 번째는 단일 항목으로 구성된 요인으로 입원기간 동안 한 가지 형태로 수집하여 한 서식지에 1회 이상 기록하는 체중, 수술, 영양컨설팅 등이 포함된다. 예를 들어 체중은 여러 번 측정하여 매번 임상관찰기록지에 기록한다. 이 경우 이벤트 발생일(욕창 발생군: 욕창 발생일, 욕창 비발생군: 퇴원일)로 부터 가장 최근에 기록된 값을 사용하였으며, 수술과 영양컨설팅은 입원부터 이벤트 발생일까지 해당 요인의 기록 여부를 분석에 활용하였다.

세 번째는 단일 항목으로 구성된 요인으로 입원기간 동안 여러 형태로 수집하나 한 서식지에 여러 번 기록하는 금식, 부종, 쇠약, 피부 통합성 장애 등이 포함된다. 예를 들어 금식은 간호기록지에 “금식 중임”, “금식 해제함” 등 다양한 형태로 여러 번 기록한다. 이 경우 데이터 추출 최대 허용 시점을 설정하여 금식여부를 이벤트 발생일에 가장 가까이 기록된 데이터를 추출하였다. 데이터 추출 최대 허용 시점은 욕창 발생 시점과 욕창 발생 전에 요인이 마지막으로 기록된 시점까지의 평균 시간으로 정의하였다[21]. 이벤트 발생일을 기준으로 데이터 추출 최대 허용 시점 이내에 기록된 내용 중 가장 최근에 기록된 데이터 값을 추출하여 활용하였으며, 데이터 추출 최대 허용 시점 내에 기록이 없는 경우는 해당 요인은 없는 것으로 간주하여 분석하였다.

네 번째는 단일 항목으로 구성된 요인으로 입원기간 동안 여러 형태로 수집하여 한 개 이상의 서식지에 1회 이상 기록하는 움직임 저하, 활동성 저하, 감각인지 장애, 의식 저하, 요실금, 자가 위생 불가능, 설사, 통증, 고정 장치 사용, 억제제 사용, 유치 도뇨관 보유, 위장관 튜브 보유, 인공호흡기 보유, 기관 내 튜브 보유, 기관 절개 튜브

보유, 산소공급 등이 포함된다. 예를 들어 설사의 경우 임상관찰기록지에는 설사 빈도와 설사 양을 숫자로 기록하고, 간호기록지에는 '설사 있음', '설사함'과 같이 설사 여부를 진술문 형태로 기록한다. 이 경우 요인 별로 기록 여부를 정의한 후 데이터 추출 최대 허용 시점 이내에 기록된 요인은 그 중 가장 최근에 기록된 데이터 값을 추출하여 활용하였으며, 데이터 추출 최대 허용 시점 내에 기록이 없는 경우 해당 요인이 없는 것으로 간주하여 분석하였다.

다섯 번째는 여러 항목으로 구성된 요인으로 입원기간 동안 한 가지 형태로 수집하여 한 개의 서식지에 1회 이상 기록하는 진단명(약성종양, 신부전, 심혈관 질환, 두부손상, 골절, 당뇨, 비뇨생식기계 질환, 척추손상, 뇌신경계질환, 정신계질환), 약물 투약(강심제, 진통제, 항불안제, 진정제, 스테로이드제, 항염증제, 항응고제) 등이 포함된다. 예를 들어 진단명(예, 당뇨병)의 경우 입원부터 이벤트 발생일까지 1형 당뇨병, 2형 당뇨병, 영양실조 관련 당뇨병 중 하나가 기록된 경우 있음으로 간주하여 분석하였다. 약물 투약(예, 강심제)의 경우 이벤트 발생일 전 데이터 추출 최대 허용 시점 내에서 해당 약물의 성분명 혹은 상품명 중 하나가 기록되어 있으면 있음으로 간주하고, 데이터 추출 최대 허용 시점 내에 기록이 없는 경우 해당 요인이 없음으로 간주하여 분석하였다.

4. 자료 수집

연구 병원의 임상 데이터 웨어하우스(Clinical Data Warehouse)에서 욕창 관련 요인 별 데이터 수집 형태, 추출 최대 허용 시점, 추출 가능한 서식지와 서식지 별 데이터 추출 정의서에 따라 데이터를 추출한 후, 통합하여 본 연구를 위한 데이터 셋을 구축하였다. 구축된 데이터 셋의 질을 확인하기 위해 데이터 셋에서 100건의 입원환자 데이터를 무작위로 추출하여 욕창 발생 여부, 욕창 발생 관련 요인 값을 전자건강기록에 기록된 데이터와 비교하였다.

추출된 요인 중 혈청 알부민과 혈청 헤모글로빈은 입원기간 동안에 한 번도 측정되지 않은 결측치가 각각 21.5%, 20.6%로 나타나 다중 대체법으로 이들 결측값을 대체하여 분석에 활용하였다. 다중 대체법은 먼저 혈청 헤모글로빈 값의 분포를 고려한 무작위 값으로 혈청 헤모글로빈의 결측값을 채운 후 혈청 알부민을 종속변수로 회귀방정식을 만들어 회귀 방정식으로 예측한 값으로 혈청 알부민의 결측값을 채웠다. 다음으로 이전 과정에서 무작위로 채워진 혈청 헤모글로빈 값을 삭제한 후 혈청 헤모글로빈을 종속변수로 회귀방정식을 만들어 회귀 방정식으로 예측한 값으로 혈청 헤모글로빈의 결측값을 채웠다. 이러한 과정을 5번 반복하여 5개의 데이터 셋을 생성한 후 5개 데이터 셋의 평균을 구하여 하나의 데이터 셋을 만들었다. 평균 자료를 사용하게 되면 추정에 관해서는 다중 대체법의 효과를 그대로 유지할 수 있다[22].

5. 윤리적 고려

본 연구는 자료수집에 앞서 연구대상 병원의 생명윤리심의위원회(IRB No. B-1607-354-111)로부터 승인을 받았으며, 해당 IRB에서 연구 대상자 사전 동의를 면제받았다. 데이터 추출시 대상자를 식별할 수 있는 개인정보는 삭제하거나 암호화하였다.

6. 자료분석

1) 대상자의 일반적 특성과 Braden Scale 점수 및 욕창 관련 특성 분석

대상자의 일반적인 특성과 Braden Scale 점수, 욕창 발생군의 욕창 관련 특성은 서술 통계(빈도, 비율, 평균, 표준편차)와 t-test, chi-squared test 등 단변량 분석 방법으로 분석하였다.

2) 모델 요인 선정

모델 개발에 포함할 요인은 예측모델의 적용 가능성(feasibility), 효율성(efficiency), 편의성(convenience)을 높이기 위해[23], 단변량 분석(t-test, chi-squared test, log-rank test)과 효과 크기(effect size)를 계산하여 선정하였다. 단변량 분석에서 p -value 0.05 미만인 요인들의 효과 크기를 구하여 효과 크기 순으로 요인을 나열한 후 이를 그래프로 그려서, 모델에 포함할 요인의 수와 요인 간의 효과 크기 차이를 고려하여 그래프의 기울기가 급격하게 변하는 지점까지 포함된 요인을 모델 개발에 포함할 요인으로 선정하였다.

3) 예측모델 개발

욕창 발생 예측모델은 로지스틱 회귀, 콕스 비례위험 회귀, 의사결정나무를 이용하여 개발하였다. 회귀모델에서 요인 선정은 단계적 선택(stepwise)을 이용하였으며, 의사결정나무 모델은 chi-square automatic interaction detector (CHAID)알고리즘을 이용하여 개발하였다. 로지스틱 회귀모델과 의사결정나무 모델의 종속변수는 '욕창 발생 여부'이며, 콕스 비례위험 회귀모델의 종속변수는 '욕창 발생 여부'와 욕창 발생군의 경우 '입원부터 욕창 발생까지 시간', 욕창 비발생군의 경우 '입원부터 퇴원까지 시간'으로 정의하였다.

4) 예측모델 및 Braden Scale 예측타당도 비교 평가

세 예측모델(로지스틱 회귀모델, 콕스 비례위험 회귀모델, 의사결정나무 모델)과 Braden Scale의 예측타당도는 각 모델 별로 산출된 욕창 위험도에 근거하여 분류한 욕창 위험군, 비위험군과 Braden Scale 총 점수에 근거하여 분류한 욕창 위험군, 비위험군에서 실제 욕창 발생 건수를 비교하여 민감도, 특이도, 양성 예측도, 음성 예측도, AUC를 계산하여 평가하였다. 세 예측모델의 타당도는 반복 분

할 할당 방법(repeated split-sampling method)을 이용하여 검증하였다. 전체 데이터를 훈련용 데이터(70%)와 검증용 데이터(30%)로 무작위 할당한 후 훈련용 데이터를 이용해서 개발된 모델을 검증용 데이터에 적용하여 모델의 예측타당도를 평가하는 과정을 100번 반복하였으며, 평균 AUC값을 가진 모델을 최종 모델로 제시하였다. 예

측타당도 평가시 각 모델의 적정 절단값(optimal cutoff)과 Braden Scale의 적정 절단값으로 20점을 이용하였으며, 콕스 비례위험 회귀 모델은 평균 욕창 발생일인 15일째의 예측타당도를 구하였다.

수집된 데이터는 R program 3.5.0 version 프로그램을 이용하여 분석하였다.

Table 1. General Characteristics and Braden Scale Scores of Study Subjects and Characteristics of Pressure Ulcers (N=14,907)

Characteristic	PU (n=202) n (%) or M±SD	No PU (n=14,705) n (%) or M±SD	t or χ^2 (p)
Age (yr)			17.03 (.001)
18~49	42 (20.8)	3,913 (26.6)	
50~59	48 (23.8)	3,536 (24.1)	
60~69	37 (18.3)	3,573 (24.3)	
≥70	75 (37.1)	3,683 (25.0)	
	61.71±15.81	58.04±15.18	
Sex			2.30 (.129)
Male	119 (58.9)	7,875 (53.6)	
Female	83 (41.1)	6,830 (46.4)	
LOS in hospital (days)	37.08±31.99	8.29±10.71	12.79 (<.001)
Route of admission			26.28 (<.001)
Emergency room	97 (48.0)	4,583(31.2)	
Outpatient clinic	105 (52.0)	10,122 (68.8)	
Braden scale scores	16.31±3.82	20.70±2.18	-16.30 (<.001)
Sensory perception	3.31±0.81	3.88±0.40	-10.13 (<.001)
Moisture	3.29±0.70	3.85±0.39	-11.26 (<.001)
Activity	2.17±1.23	3.54±0.77	-15.84 (<.001)
Mobility	2.78±0.87	3.64±0.57	-14.05 (<.001)
Nutrition	2.53±0.64	2.90±0.54	-8.19 (<.001)
Friction and shear	2.23±0.66	2.89±0.33	-13.99 (<.001)
Time to pressure ulcer occurrence (days)			
0~3	70 (34.7)		
4~15	70 (34.7)		
≥16	62 (30.6)		
	15.21±18.64		
Place where pressure ulcer developed			
Operating room	73 (36.1)		
Ward or ICU	129 (63.9)		
Body site of pressure ulcer [†]			
Back of head	5 (2.1)		
Cheek	11 (4.6)		
Chest	28 (11.6)		
Vertebra	16 (6.6)		
Coccyx	91 (37.7)		
Hip	38 (15.8)		
Thigh	15 (6.2)		
Lower leg	12 (5.0)		
Ankle	14 (5.8)		
Heel	11 (4.6)		

ICU=intensive care unit; LOS=length of stay; M=mean; PU=pressure ulcer; SD=standard deviation.

[†]A total of 241 pressure ulcers developed in 202 cases.

연구 결과

1. 대상자의 일반적 특성과 Braden Scale 점수 및 욕창 관련 특성

욕창 발생군 (202건)과 욕창 비발생군(14,705건)의 특성은 Table 1과 같다. 욕창 발생군의 나이(61.71 ± 15.81 세)가 욕창 비발생군(58.04 ± 15.18 세)보다 유의하게 많았고, 욕창 발생군의 재원일수(37.08 ± 31.99 일)가 욕창 비발생군(8.29 ± 10.71 일)보다 약 4.5배 길었다. 응급실을 통한 입원은 욕창 발생군이 48.0%로 욕창 비발생군의 31.2%보다 유의하게 많았다. Braden Scale 점수는 총점과 6개의 세부항목별 점수 모두 욕창 발생군이 욕창 비발생군보다 유의하게 낮았다.

욕창 발생군의 입원 후 욕창 발생시기는 평균 15.21 ± 18.64 일로 나타났다. 입원 후 0~3일에 70건, 4~15일에 70건, 16일 이상에 62건 발생하였다. 욕창 발생 장소는 수술장 73건, 병동과 중환자실 129건으로 전체 욕창의 36.1%가 수술장에서 발생하였다. 욕창 발생부위

는 미골 부위가 91건(37.7%)으로 가장 많았고, 둔부가 38건(15.8%), 가슴 부위가 28건(11.6%)순으로 나타났다.

2. 모델 요인 선정

51개의 욕창 발생과 관련된 요인 중 16개가 최종적으로 예측모델에 사용되었는데, 구체적으로 기관 내 튜브 보유, 개인 위생시 도움 필요, 의식 저하, 억제대 사용, 유치 도뇨관 보유, 강심제 투약, 위장관계 튜브 보유, 산소 치료, 인공호흡기 보유, 기관 절개 튜브 보유, 낮은 혈청 알부민, 감각인지장애, 피부통합성장애, 움직임 저하, 수술 시행, 영양 컨설팅 시행이 포함되었다.

3. 예측모델 개발

1) 로지스틱 회귀모델

로지스틱 회귀를 이용하여 개발된 예측모델에서는 11개의 요인이 욕창 발생에 통계적으로 유의한 요인으로 확인되었다(Table 2). 움직임 저하가 있는 경우는 없는 경우에 비해 욕창 발생 가능성이 99.83

Table 2. Logistic Regression Model: Factors Associated with Pressure Ulcers

(N=14,907)

Features	β	SE	p	OR	95% CI	
Need for assistance with hygiene	1.51	0.27	<.001	4.55	2.69	7.66
Decreased consciousness	1.68	0.25	<.001	5.34	3.25	8.78
Foley catheter	0.65	0.28	.020	1.93	1.11	3.36
Cardiac stimulant	0.64	0.30	.030	1.90	1.05	3.36
Oxygen therapy	1.04	0.30	<.001	2.84	1.60	5.11
Low serum albumin	1.65	0.26	<.001	5.20	3.12	8.76
Sensory perception impairment	1.51	0.31	<.001	4.51	2.46	8.18
Impaired skin integrity	1.13	0.26	<.001	3.09	1.85	5.09
Decreased mobility	4.60	0.84	<.001	99.83	23.82	726.46
Surgery	0.89	0.25	<.001	2.43	1.50	3.95
Nutrition consultation	0.59	0.30	.047	1.80	1.00	3.20

CI=confidence interval; OR=odds ratio; SE=standard error.

Table 3. Cox Proportional Hazards Regression Model: Factors Associated with Pressure Ulcers

(N=14,907)

Features	β	SE	p	HR	95% CI	
Need for assistance with hygiene	0.77	0.25	.002	2.16	1.32	3.54
Decreased consciousness	1.36	0.24	<.001	3.90	2.42	6.28
Foley catheter	0.97	0.27	<.001	2.63	1.55	4.45
Gastrointestinal tube	-0.59	0.23	.011	0.56	0.36	0.87
Oxygen therapy	0.80	0.28	.004	2.22	1.28	3.84
Mechanical ventilation	0.89	0.24	<.001	2.42	1.51	3.89
Low serum albumin	0.71	0.20	<.001	2.03	1.37	3.02
Sensory perception impairment	1.08	0.22	<.001	2.94	1.91	4.52
Impaired skin integrity	0.77	0.18	<.001	2.16	1.51	3.08
Decreased mobility	4.37	1.01	<.001	79.22	10.92	574.76
Nutrition consultation	-0.98	0.24	<.001	0.38	0.24	0.60

CI=confidence interval; HR=hazard ratio; SE=standard error.

배로 가장 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다(95% CI 23.82~726.46, $p<.001$). 의식 저하가 있는 경우는 없는 경우에 비해 욕창 발생 가능성이 5.34배(95% CI 3.25~8.78, $p<.001$), 혈청 알부민이 낮은 경우는 낮은 경우에 비해 욕창 발생 가능성이 5.20배(95% CI 3.12~8.76, $p<.001$), 개인 위생시 도움이 필요한 경우는 필요없는 경우에 비해 욕창 발생 가능성이 4.55배(95% CI 2.69~7.66, $p<.001$), 감각인지장애가 있는 경우는 없는 경우에 비해 욕창 발생 가능성이 4.51배(95% CI 2.46~8.18, $p<.001$) 높게 나타났다.

2) 콕스 비례위험 회귀모델

콕스 비례위험 회귀를 이용하여 개발된 예측모델에서는 11개의 요인이 욕창 발생에 통계적으로 유의한 요인으로 확인되었다(Table 3). 움직임 저하가 있는 경우는 없는 경우에 비해 일당 욕창 발생 위험이 79.22배로 가장 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다(95% CI 10.92~574.76, $p<.001$). 의식 저하가 있는 경우는 없는 경우에 비해 일당 욕창 발생 위험이 3.90배(95% CI 2.42~6.28, $p<.001$), 감각인지장애가 있는 경우는 없는 경우에 비해 일당 욕창 발생 위험이 2.94배(95% CI 1.91~4.52, $p<.001$), 유치 도뇨관이 있는 경우는 없는 경우에 비해 일당 욕창 발생 위험이 2.63배(95% CI 1.55~4.45, $p<.001$), 인공호흡기가 있는 경우는 없는 경우에 비해 일당 욕창 발생 위험이 2.42배(95% CI 1.51~3.89, $p<.001$) 높게 나타났다.

3) 의사결정나무 모델

의사결정나무를 이용하여 개발된 예측모델에서는 7개의 욕창 발생 위험요인과 9개의 집단(nodes)이 확인되었다(Figure 1). 욕창 발생에 통계적으로 유의한 요인으로 기관 내 튜브, 감각인지장애, 의식 저하, 개인 위생시 도움 필요, 인공호흡기, 낮은 혈청 알부민, 유치 도뇨관이 포함되었다. 욕창 발생 위험이 가장 높은 집단은 기관 내 튜브를 가지고 있고, 감각인지장애가 있는 집단으로 욕창 발생 위험이 90.7%인 것으로 나타났다. 욕창 발생 위험이 두 번째로 높은 집단은 기관 내 튜브는 없으며, 의식 저하가 있고, 개인 위생시 도움이 필요한 집단으로 욕창 발생의 위험이 37.8%인 것으로 나타났다. 욕창 발생 위험이 세 번째로 높은 집단은 기관 내 튜브가 없고, 의식 저하가 있으며 개인 위생시 도움은 필요 없으며 인공호흡기를 보유하고 있는 집단으로 욕창 발생 위험이 24.0%인 것으로 확인되었다. 욕창 발생 위험이 네 번째로 높은 집단은 기관 내 튜브를 가지고 있고 감각인지장애는 없는 집단으로 욕창 발생 위험이 21.4%인 것으로 나타났다.

4) 예측모델 및 Braden Scale의 예측타당도 비교 평가

개발된 세 모델과 Braden Scale의 예측타당도를 비교한 결과는 Table 4와 같다. 로지스틱 회귀모델의 민감도, 특이도, 양성 예측도, 음성 예측도, AUC가 각각 92.6, 92.6, 15.3, 99.9, 0.97로 모든 지표

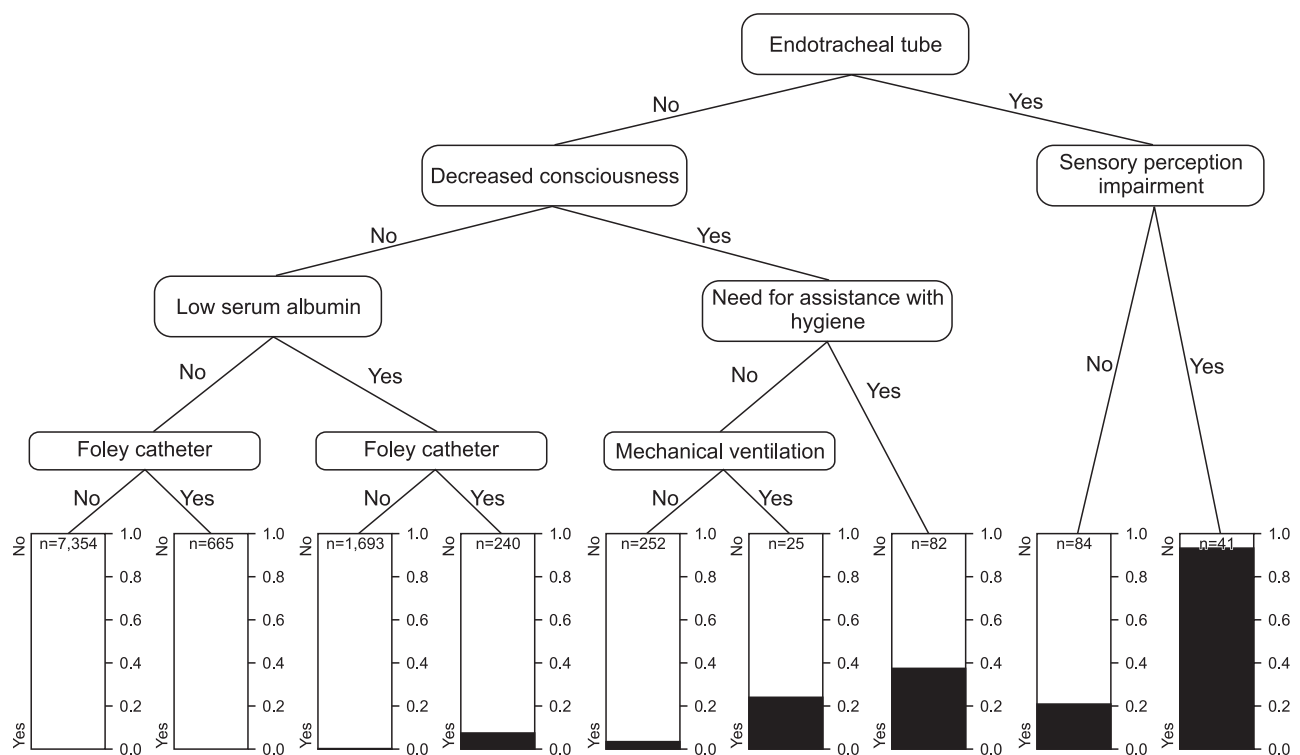


Figure 1. Decision tree model.

Table 4. Comparison of Predictive Validity Performance Indicators

	Braden Scale	Logistic regression model	Cox proportional hazards regression model	Decision tree model
Sensitivity (%)	76.7	92.6	91.3	86.3
Specificity (%)	69.4	92.6	83.0	91.5
PPV (%)	3.3	15.3	10.9	14.3
NPV (%)	99.5	99.9	99.8	99.8
AUC	0.82	0.97	0.95	0.95

AUC=area under the curve; NPV=negative predictive value; PPV=positive predictive value.

에서 예측타당도가 가장 높았으며, 콕스 비례위험 회귀모델의 민감도, 특이도, 양성 예측도, 음성 예측도, AUC는 91.3, 83.0, 10.9, 99.8, 0.95로 의사결정나무 모델의 민감도, 특이도, 양성 예측도, 음성 예측도, AUC인 86.3, 91.5, 14.3, 99.8, 0.95에 비해 민감도는 높으나 특이도와 양성예측도는 낮았으며, 음성예측도와 AUC는 동일하였다. Braden Scale의 예측타당도는 76.7, 69.4, 3.3, 99.5, 0.82로서 모든 항목에서 세 가지 모델보다 낮았다.

논 의

본 연구는 전자건강기록 데이터를 활용하여 욕창 발생 위험을 예측하는 세 가지 모델을 개발하고 세 모델의 예측타당도를 연구대상 병원에서 현재 사용하고 있는 욕창 위험 사정도구인 Braden Scale의 예측타당도와 비교하였다.

본 연구에서는 욕창 발생 관련 요인을 추출하기 위해 전자건강기록의 다양한 서식지에 다양한 시점에 다양한 형태로 기록된 데이터를 통합하여 활용하였다. 예를 들어, 욕창 발생일로부터 3일 전까지 기록된 데이터를 활용한 “유치 도뇨관”의 경우, 간호 진술문에서 81.9%, 임상관찰기록지에서 16.4%, 간호활동지에서 1.1%, 중증도분류지에서 0.6%의 데이터를 추출할 수 있었다. 욕창 발생일로부터 5일 전까지의 데이터를 활용한 “요실금”의 경우, 간호활동지에서 51.6%, 간호 진술문에서 39.2%, 임상관찰기록지에서 9.2%의 데이터를 추출할 수 있었다. 이와 같이 다양한 서식지로부터 데이터를 추출함으로써 한 서식에서 데이터를 추출하는 것보다 더 많은 결측값을 줄일 수 있었다.

본 연구 대상자 중 욕창 환자들의 욕창 발생 시기와 발생 부위를 살펴본 결과, 평균 욕창 발생 시기는 입원 15.21일째로 선행연구 [4,24]에서 제시한 11.6~15일과 유사하였다. 욕창 발생 시기를 내과와 외과 환자로 구분하여 살펴본 결과, 외과 환자는 입원 당일 혹은 입원 후 1~3일 내에 수술을 받고 욕창이 발생한 경우가 42.2%를 차지하였는데, 이는 수술장에서 전신마취, 수술 체위, 의료 기기 사용

등으로 입원 초기에 욕창 발생 위험이 높아지기 때문이다[25]. 반면 내과 환자는 입원 초기보다는 입원 4~15일째 전체 욕창의 47.3%가 발생하였는데, 이는 내과 환자의 경우 입원기간이 길어지면서 전신 허약감, 영양 불량, 움직임 감소 등이 악화되어 욕창 발생 위험이 높아지기 때문이다[26].

본 연구에서 욕창이 가장 빈번히 발생한 부위는 미골(37.7%), 둔부(15.8%), 가슴 부위(11.6%)순이었는데, 다른 연구에서도 대부분의 욕창 발생 부위가 미골과 둔부인 것으로 나타났다[2]. 반면에 본 연구에서는 외과환자의 경우 가슴 부위도 주요 욕창 발생 부위로 확인되었는데, 이는 수술 중 체위와 관련된 것으로 복위를 취하게 되면 주로 가슴, 유방 등의 부위에서 욕창 발생 위험이 높아지기 때문이다[25].

본 연구에서 개발한 로지스틱 회귀모델, 콕스 비례위험 회귀모델, 의사결정나무 모델의 세 가지 욕창 발생 예측모델을 각 모델 별로 욕창 발생에 유의한 대표적인 요인들을 살펴보고, 세 모델의 예측력과 Braden Scale의 예측력을 비교하면 다음과 같다.

먼저 로지스틱 회귀모델에서 욕창 발생에 유의하게 영향을 미치는 11개 요인 중 OR가 4.5 이상인 요인은 움직임 저하, 의식 저하, 혈청 알부민 수치, 개인 위생시 도움 필요, 감각인지장애로 나타났다. 움직임 저하가 있는 환자는 없는 환자에 비해 욕창 발생 가능성이 무려 99.83배나 높게 나타나 로지스틱 회귀모델에서 가장 중요한 요인으로 확인되었다. 과거 다른 연구에서도 움직임 저하가 욕창 발생에 유의한 요인으로 확인된 바 있는데, Gallagher 등[27]의 연구에서는 움직임 저하가 있는 경우가 없는 경우에 비해 욕창 발생 가능성이 약 9배 높게 나타났다. 부동 상태는 돌출된 뼈 부위에 지속적으로 압력을 가중시키며 혈관을 압박하여 모세혈관으로 산소와 영양분 공급, 대사성 폐기물 운반을 방해함으로써 국소 조직의 허혈과 부종, 괴사가 일어나게 한다[28]. 의식 저하가 있는 환자는 없는 환자에 비해 욕창 발생 가능성이 5.34배 높게 나타났다. Reed 등[29]의 연구에서도 의식 상태가 ‘혼미’인 환자는 그렇지 않은 환자에 비해 욕창 발생 가능성이 1.45배로 높게 나타나 욕창 발생에 유의한 위험 요인으로 확인되었다. 의식 저하와 같은 정신 상태는 욕창 발생에 직접적인 원인은 아니지만 활동성, 운동성, 감각인지 등에 영향을 줌으로써 욕창 발생 위험을 증가시킨다. 혈청 알부민 수치가 낮은 환자는 낮은 환자에 비해 욕창 발생 가능성이 5.20배 높게 나타났다. Serpa와 Santos [11]의 연구에서도 알부민 수치가 낮은 환자의 욕창 발생 가능성이 정상 수치인 환자보다 5.2배 높다고 보고하였다. 이는 영양부족이 압력을 견뎌낼 수 있는 피부 능력을 저하시켜 욕창 발생 위험을 증가시키기 때문이다. 개인 위생시 도움이 필요한 환자의 욕창 발생 가능성은 필요하지 않은 환자에 비해 4.55배 높게 나타났다. Ahtiala 등[30]의 연구에서도 자가위생수행능력이 저하된 환

자의 욕창 발생 가능성이 약 2배 높게 나타났는데, 이는 환자 스스로 씻지 못하여 피부가 건조해지거나 또는 과도하게 습한 상태가 될 수 있으며, 이러한 상태는 욕창을 발생시킬 수 있는 상처나 감염에 취약하게 만든다. 또 다른 욕창 발생 위험요인으로 감각인지장애가 있는 환자의 욕창 발생 가능성이 감각인지장애가 없는 환자에 비해 4.51배 높게 나타났다. Fisher 등[31]의 연구에서도 감각인지장애가 있는 환자의 욕창 발생 가능성이 5.76배 높은 것으로 나타났다. 감각인지장애가 있으면 압력으로 인한 통증 자극을 인지할 수 없으며, 독립적인 체위 변경이나 체위 변경 요구를 하지 못해 압력 및 전단력에 노출되는 시간을 증가시켜 욕창이 발생할 수 있다.

다음으로 콕스 비례위험 회귀모델에서 욕창 발생과 욕창 발생 시기에 유의하게 영향을 미치는 11개 요인 중 HR가 2.4 이상인 요인은 움직임 저하, 의식 저하, 감각인지장애, 유치 도뇨관, 인공호흡기로 나타났다. 이들 요인은 일별 욕창 발생 위험을 증가시켜 입원 후 욕창이 빨리 발생하는 데 기여한다. 이들 중 움직임 저하(HR 79.22), 의식 저하(HR 3.90), 감각인지장애(HR 2.94)는 로지스틱 회귀모델에서도 욕창 발생에 유의하게 영향을 미치는 요인으로 나타났다. 유치 도뇨관을 가진 환자의 일별 욕창 발생 위험이 없는 환자에 비해 2.63배 높게 나타났는데, 이는 유치 도뇨관 보유가 신체적 기능 수준 저하와 일상생활 수행능력 감소를 야기할 수 있기 때문이다[6]. 인공호흡기를 가진 환자의 일당 욕창 발생 위험이 없는 환자에 비해 2.42배 높게 나타났다. 이는 인공 호흡기로 환자의 움직임이 감소되고 뼈 돌출 부위에 압력이 가해지며, 산소 운반과 조직 관류가 감소되어 욕창 발생 위험이 증가하기 때문이다[32].

마지막으로 의사결정나무 모델에서 욕창 발생에 유의하게 영향을 미치는 요인은 기관 내 튜브, 감각인지장애, 의식 저하, 개인 위생시 도움 필요, 인공호흡기, 혈청 알부민, 유치 도뇨관으로 나타났다. 기관 내 튜브가 욕창 발생에 관련된 가장 상위 요인으로서, 일반적으로 기관 내 튜브를 가진 환자들에게는 환자가 기관 내 튜브를 제거하지 못하도록 억제대를 적용하거나 진정제를 투여하고 있어 스스로 체위를 변경하지 못하여 욕창 발생 위험이 높아진다[28]. 의사결정나무 모델에서 유의하게 나타난 다른 요인들은 로지스틱 회귀모델과 콕스 비례위험 회귀모델에서도 유의한 요인으로 나타나 앞에서 이미 논의되었다.

세 모델에서 욕창 발생에 영향을 미치는 유의한 요인 중 움직임 저하가 두 회귀모델에서 공통적으로 가장 유의한 요인으로 나타났으나 의사결정나무 모델에서는 중요하지 않았다. 반면에 의사결정나무 모델에서 가장 중요한 요인으로 나타난 기관 내 튜브는 로지스틱 회귀모델과 콕스 비례위험 회귀모델에서는 유의하지 않은 요인으로 나타났다. 이는 회귀 분석과 의사결정나무에서 유의미한 요인을 선정하는 알고리즘의 차이에 기인한 것으로, 회귀 분석에서는 욕창 발생

과 욕창 발생 시기를 감안하여 욕창 발생 위험에 영향을 미치는 유의한 요인을 선정하는 과정에 회귀계수의 유의 수준이 정해진 수준 이하가 되는 요인은 제외시킨다[33]. 반면, 의사결정나무에서는 전체 데이터를 요인의 값에 따라 몇 개의 소집단으로 분류하는 분석법으로 나무 구조를 형성하는 때 단계마다 분류에 기여하는 요인을 선택한다. 상위 마디에서의 분류 요인은 요인 값에 의해 분기되는 하위 마디 내에서는 동질성이, 마디 간에는 이질성이 가장 커지도록 선택된다. 상위 마디에서 가지가 분할될 때 요인의 선택 방법은 본 연구에서 사용한 CHAID알고리즘인 경우 chi-squared 값의 p 값이 작을수록 하위 마디에서의 큰 이질성을 나타낸다[34].

본 연구에서 모델별로 유의한 요인을 선정하는 과정을 살펴보면, 의사결정나무 모델에서 가장 유의한 요인으로 나타난 기관 내 튜브가 두 회귀모델에서는 처음에 유의한 요인으로 선정되었다가 다른 요인들이 추가되면서 유의하지 않은 요인으로 제거되었다. 반면, 단변량 분석에서 chi-squared값이 가장 높은 기관 내 튜브가 의사결정나무 모델에서 가장 상위 마디의 중요한 요인으로 선정되었다.

세 종류의 모델과 Braden Scale의 예측타당도를 비교한 결과, 로지스틱 회귀모델의 민감도, 특이도, 양성 예측도, 음성 예측도, AUC 값이 다른 모델보다 높았으며, 의사결정나무 모델의 특이도, 양성 예측도 값이 콕스 비례위험 회귀모델보다 높았다. 임상에서 가장 많이 사용되고 있는 Braden Scale의 예측타당도는 모든 항목에서 가장 낮은 것으로 나타났다. 단변량 분석에서 Braden Scale의 총점과 6개의 세부항목별 점수 모두 욕창 발생군과 욕창 비발생군 간에 유의한 차이를 보였지만, 세부항목들 간의 상관관계(운동성과 활동성 간의 상관관계수 0.65, 마찰력과 활동성 0.63, 습기와 마찰력 0.59)가 높아 세부항목 값을 종합하여 도출된 욕창 발생 예측력은 더 낮게 나타났다. 세 모델 중 가장 예측력이 높게 나온 로지스틱 회귀모델과 Braden Scale의 항목을 비교해보면, 움직임 저하와 감각인지장애는 공통적인 욕창 위험요인이거나 Braden Scale의 영양에 해당하는 항목은 로지스틱 회귀모델에서 구체적이고 객관적인 지표인 혈청 알부민과 영양 컨설팅으로 대체되었고, Braden Scale에는 포함되지 않은 수술과 유치 도뇨관, 산소 치료, 강심제 투약 등이 로지스틱 회귀모델에 추가되었다. 이러한 항목들은 주로 입원기간 동안 환자에게 제공된 간호 및 의학적 중재 관련 항목들로서 환자를 치료하기 위해 투입된 약물, 수술, 의료기기 사용 등이다. 따라서 욕창 위험 사정도구의 욕창 발생 예측력을 높이기 위해서는 간호사가 주관적으로 판단하는 지표를 구체적이고 객관적인 지표로 대체해야 할 뿐 아니라 입원기간 동안 환자에게 행해진 치료적 중재 행위도 욕창 발생 위험요인으로 추가될 필요가 있다.

본 연구는 임상에서 별도로 욕창 발생 위험요인을 평가하지 않고 의료진이 진료하거나 간호하는 과정에서 수집하여 기록한 데이터로

욕창 발생 위험을 예측할 수 있으며, 이렇게 개발된 모델이 기존에 널리 사용되고 있는 Braden Scale보다 예측력이 높은 것으로 나타나 Braden Scale의 보완이 필요함을 확인하였다는 의의가 있다. 본 연구에서 개발된 모델을 임상 실무에 적용하면 환자 별 욕창 발생 위험도를 실시간으로 계산하여 위험군 분류가 가능하며, 나이가 환자별 맞춤형 예방중재안을 제시하는 임상 의사결정지원시스템을 개발하면 욕창 발생을 효과적으로 예방할 수 있을 것이다.

본 연구의 제한점은 첫째, 한 병원의 6개 병동에 입원한 환자만을 대상으로 모델을 개발하고 평가하여 모델의 일반화 가능성(generalizability)을 확인하지 못하였다. 추후 타 병동 또는 타 병원의 데이터를 수집하여 외적 타당도(external validation)를 검증할 필요가 있다. 둘째, 선행연구에서 내·외과 환자간 욕창 발생 시기와 발생 부위에 차이가 있다고 하였으나 본 연구에서는 내·외과 환자를 분리하지 않고 통합한 욕창 발생 예측모델을 개발하였다. 추후 내·외과 환자를 분리하여 욕창 발생 위험요인을 고려한 별도의 예측모델 개발이 필요하다.

결 론

본 연구에서는 전자건강기록 데이터를 활용하여 로지스틱 회귀, 콕스 비례위험 회귀, 의사결정나무를 통해 욕창 발생을 예측하는 모델을 개발하였다. 전자건강기록의 다양한 서식지에서 다양한 형태로 기록된 다양한 시점의 데이터를 이용함으로써 데이터의 정확성을 높이고 결측값을 줄일 수 있었다. 개발된 세 가지 욕창 발생 예측모델 중 로지스틱 회귀모델이 가장 예측력이 높았으며, 욕창 발생 위험 요인들 중 움직임 저하가 가장 중요한 요인으로 확인되었다. Braden Scale의 예측력이 본 연구에서 개발한 세 가지 모델에 비해서 낮은 것으로 나타났으므로 앞으로 예측력을 높이기 위해서는 항목의 보완이 필요함을 알 수 있었다. 본 연구에서 개발된 욕창 발생 예측모델을 추후 다른 의료환경에 활용하여 외적 타당도를 확인한 후, 간호 실무에서 욕창 발생 예측 자동화 시스템으로 활용한다면 욕창 발생 위험 요인 관련 데이터를 별도로 수집하지 않고 정확하고 효율적으로 환자별 욕창 발생 예측이 가능할 것으로 기대된다.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declared no conflict of interest.

REFERENCES

1. Lyder CH. Pressure ulcer prevention and management. *Journal*

- of the American Medical Association. 2003;289(2):223-226. <https://doi.org/10.1001/jama.289.2.223>
2. Lyder CH, Wang Y, Metersky M, Curry M, Kliman R, Verzier NR, et al. Hospital-acquired pressure ulcers: Results from the national medicare patient safety monitoring system study. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2012;60(9):1603-1608. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2012.04106.x>
3. Agency for Healthcare Research and Quality. 1. Are we ready for this change? [Internet]. Rockville (MD): Agency for Healthcare Research and Quality; c2014 [cited 2018 May 17]. Available from: <https://www.ahrq.gov/professionals/systems/hospital/pressureulcertoolkit/putool1.html>.
4. Kim KN, Kang KJ, Lee HS, Shin YH, Kim SK, Park KH, et al. Survey on pressure ulcers and influencing factors of stage change in acute university hospital inpatients. *Journal of Korean Clinical Nursing Research*. 2011;17(3):433-442.
5. Lee HN, Park JS. Nutrition-related factors predicted pressure ulcers in intensive care unit patients. *Journal of Korean Academy of Fundamentals of Nursing*. 2014;21(4):413-422. <https://doi.org/10.7739/jkafn.2014.21.4.413>
6. Shin KR, Kim M, Kang Y, Jung D, Eom JY, Kweon YR. Pressure ulcers in long-term care hospitals in Korea: Prevalence and risk factors. *Journal of the Korean Gerontological Society*. 2012;32(1):115-127.
7. Alderden J, Rondinelli J, Pepper G, Cummins M, Whitney J. Risk factors for pressure injuries among critical care patients: A systematic review. *International Journal of Nursing Studies*. 2017;71:97-114. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2017.03.012>
8. Benoit R, Mion L. Risk factors for pressure ulcer development in critically ill patients: A conceptual model to guide research. *Research in Nursing & Health*. 2012;35(4):340-362. <https://doi.org/10.1002/nur.21481>
9. Anthony D, Papanikolaou P, Parboteeah S, Saleh M. Do risk assessment scales for pressure ulcers work? *Journal of Tissue Viability*. 2010;19(4):132-136. <https://doi.org/10.1016/j.jtv.2009.11.006>
10. Schoonhoven L, Haalboom JR, Bousema MT, Algra A, Grobbee DE, Grypdonck MH, et al. Prospective cohort study of routine use of risk assessment scales for prediction of pressure ulcers. *British Medical Journal*. 2002;325(7368):797. <https://doi.org/10.1136/bmj.325.7368.797>
11. Serpa LF, Santos VLCG. Validity of the Braden nutrition subscale in predicting pressure ulcer development. *Journal of Wound, Ostomy and Continence Nursing*. 2014;41(5):436-443. <https://doi.org/10.1097/WON.0000000000000059>
12. Skogestad IJ, Martinsen L, Børsting TE, Granheim TI, Ludvigsen ES, Gay CL, et al. Supplementing the Braden scale for pressure ulcer risk among medical inpatients: The contribution of self-reported symptoms and standard laboratory tests.

- Journal of Clinical Nursing. 2017;26(1-2):202-214.
<https://doi.org/10.1111/jocn.13438>
13. Wang LH, Chen HL, Yan HY, Gao JH, Wang F, Ming Y, et al. Inter-rater reliability of three most commonly used pressure ulcer risk assessment scales in clinical practice. *International Wound Journal*. 2015;12(5):590-594.
<https://doi.org/10.1111/iwj.12376>
 14. Huston CJ. Professional issues in nursing: Challenges and opportunities. 3rd ed. Philadelphia (PA): Lippincott Williams & Wilkins; 2013. p. 1-433.
 15. Hatanaka N, Yamamoto Y, Ichihara K, Mastuo S, Nakamura Y, Watanabe M, et al. A new predictive indicator for development of pressure ulcers in bedridden patients based on common laboratory tests results. *Journal of Clinical Pathology*. 2008;61(4):514-518. <https://doi.org/10.1136/jcp.2007.050195>
 16. Cho IS, Chung E. Predictive bayesian network model using electronic patient records for prevention of hospital-acquired pressure ulcers. *Journal of Korean Academy of Nursing*. 2011;41(3):423-431.
<https://doi.org/10.4040/jkan.2011.41.3.423>
 17. Kim H, Choi J, Thompson S, Meeker L, Dykes P, Goldsmith D, et al. Automating pressure ulcer risk assessment using documented patient data. *International Journal of Medical Informatics*. 2010;79(12):840-848.
<https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2010.08.005>
 18. Tetrault JM, Sauler M, Wells CK, Concato J. Reporting of multivariable methods in the medical literature. *Journal of Investigative Medicine*. 2008;56(7):954-957.
<https://doi.org/10.2310/JIM.0b013e31818914ff>
 19. Cai Q, Salmon JW, Rodgers ME. Factors associated with long-stay nursing home admissions among the U.S. elderly population: Comparison of logistic regression and the Cox proportional hazards model with policy implications for social work. *Social Work in Health Care*. 2009;48(2):154-168.
<https://doi.org/10.1080/00981380802580588>
 20. Bae HS, Cho DH, Suk KH, Kim BS, Choi KL, Lee JY, et al. Data mining using SAS enterprise miner. Seoul: Kyowoosa; 2004. p. 1-315.
 21. Park SK, Park HA. Factors affecting the time to occurrence of hospital-acquired pressure ulcers using EHR data. *Studies in Health Technology and Informatics*. 2017;245:1113-1117.
<https://doi.org/10.3233/978-1-61499-830-3-1113>
 22. Pak GD, Shin KI. Non-response imputation for panel data. *Communications for Statistical Applications and Methods*. 2010;17(6):899-907.
<https://doi.org/10.5351/CKSS.2010.17.6.899>
 23. Lee YH, Bang H, Kim DJ. How to establish clinical prediction models. *Endocrinology and Metabolism*. 2016;31(1):38-44.
<https://doi.org/10.3803/EnM.2016.31.1.38>
 24. Bragagnolo R, Perrone F, de Siqueira Paese MC, de Aguiar-Nascimento JE, Dock-Nascimento DB. Risk factors associated with pressure ulcers. *Brazilian Journal of Clinical Nutrition*. 2013;28(4):311-315.
 25. Walton-Geer PS. Prevention of pressure ulcers in the surgical patient. *AORN Journal*. 2009;89(3):538-552.
<https://doi.org/10.1016/j.aorn.2008.12.022>
 26. Lindgren M, Unosson M, Fredrikson M, Ek AC. Immobility—a major risk factor for development of pressure ulcers among adult hospitalized patients: A prospective study. *Scandinavian Journal of Caring Sciences*. 2004;18(1):57-64.
<https://doi.org/10.1046/j.0283-9318.2003.00250.x>
 27. Gallagher P, Barry P, Hartigan I, McCluskey P, O'Connor K, O'Connor M. Prevalence of pressure ulcers in three university teaching hospitals in Ireland. *Journal of Tissue Viability*. 2008;17(4):103-109.
<https://doi.org/10.1016/j.jtv.2007.12.001>
 28. Cooper KL. Evidence-based prevention of pressure ulcers in the intensive care unit. *Critical Care Nurse*. 2013;33(6):57-66. <https://doi.org/10.4037/ccn2013985>
 29. Reed RL, Hepburn K, Adelson R, Center B, McKnight P. Low serum albumin levels, confusion, and fecal incontinence: Are these risk factors for pressure ulcers in mobility-impaired hospitalized adults? *Gerontology*. 2003;49(4):255-259.
<https://doi.org/10.1159/000070407>
 30. Ahtiala MH, Soppi E, Kivimäki R. Critical evaluation of the Jackson/Cubbin pressure ulcer risk scale – a secondary analysis of a retrospective cohort study population of intensive care patients. *Ostomy Wound Management*. 2016;62(2):24-33.
 31. Fisher AR, Wells G, Harrison MB. Factors associated with pressure ulcers in adults in acute care hospitals. *Advances in Skin & Wound Care*. 2004;17(2):80-90.
 32. Pender LR, Frazier SK. The relationship between dermal pressure ulcers, oxygenation and perfusion in mechanically ventilated patients. *Intensive and Critical Care Nursing*. 2005;21(1):29-38. <https://doi.org/10.1016/j.iccn.2004.07.005>
 33. Bursac Z, Gauss CH, Williams DK, Hosmer DW. Purposeful selection of variables in logistic regression. *Source Code for Biology and Medicine*. 2008;3:17.
<https://doi.org/10.1186/1751-0473-3-17>
 34. Berry MJA, Linoff GS. Data mining techniques: For marketing, sales, and customer relationship management. 2nd ed. Indianapolis (IN): Wiley; 2004. p. 1-643.