

체외막산소화장치 적용 중환자를 위한 근거기반 간호 프로토콜 개발 및 효과 평가

김수미¹ · 김철규²¹충북대학교병원 간호부, ²충북대학교 간호학과

Development and Evaluation of Evidence-Based Nursing Protocol for Extracorporeal Membrane Oxygenation to Critically Ill Patients

Kim, Soomi¹ · Kim, Chul-Gyu²¹Department of Nursing, Chungbuk National University Hospital, Cheongju²Department of Nursing Science, Chungbuk National University, Cheongju, Korea

Purpose: This study aimed to develop an evidence-based extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) nursing protocol for critically ill patients receiving ECMO treatment by using an adaptation process, and to verify the effects of the protocol. **Methods:** The protocol was developed according to the adaptation guidelines. A non-randomized controlled trial was conducted to test the protocol's effects. Data were collected between April 2019 and March 2021. The differences in physiological indicators and complication rates between the two groups were investigated using a chart review to evaluate patient outcomes. The nurses' outcome variables were evaluated using a questionnaire. **Results:** First, after reviewing 11 guidelines by appraisal of the guidelines for research and evaluation collaboration II, 5 guidelines with a standardization grade of over 50 points were selected. An ECMO nursing protocol was developed based on these guidelines. Second, there were no statistically significant differences in physiological indicators between the two groups of patients. However, the experimental group showed a statistically significant decrease in the infection rate ($p = .026$) and pressure injury rates ($p = .041$). The levels of satisfaction with ECMO nursing care, and empowerment and performance of the nurses who used the ECMO nursing protocol were higher than those of nurses who did not ($p < .001$). **Conclusion:** This protocol may help prevent infections and pressure injuries in patients, and improve nurses' satisfaction and empowerment. The nursing protocol developed for critically ill patients receiving ECMO treatment can be utilized in evidence-based nursing practice.

Key words: Extracorporeal Membrane Oxygenation; Evidence-Based Nursing; Clinical Protocols, Critical Care Outcomes

서론

1. 연구의 필요성

중환자에게 적용하고 있는 기계적 심폐 보조 장치인 체외막산소화장치(Extracorporeal membrane oxygenation [ECMO])는 중증의 심폐 부전 환자에게 산소화, 환기, 관류를 제공하는 것이

주요어: 체외막산소화장치, 근거기반 간호, 임상 프로토콜, 중환자 치료 결과

* 이 논문은 제1저자 김수미의 2021년도 박사학위논문의 축약본임.

* This manuscript is a condensed form of the first author's doctoral dissertation from Chungbuk National University. Year of 2021.

Address reprint requests to : Kim, Chul-Gyu

Department of Nursing Science, Chungbuk National University, 1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju 28644, Korea

Tel: +82-43-249-1860 Fax: +82-43-266-1719 E-mail: cgkim@cbnu.ac.kr

Received: September 13, 2022 Revised: March 22, 2023 Accepted: April 6, 2023 Published online June 30, 2023

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.

다[1]. 1950년대에 심장 수술 중 장기간의 심폐 우회를 위한 산소를 공급하는 수단으로 개발되었으나, 1970년대 ECMO 치료 후의 사망률이 90%라는 보고로 인해 ECMO의 사용은 줄어들었다. 그러나 이후 ECMO 관련 기술의 발전과 2002년 중증급성 호흡기증후군, 2012년 중증호흡기증후군 등의 유행으로 ECMO 치료의 유용성이 알려지기 시작하면서, 현재는 심근의 휴식과 폐 보호 전략을 위한 대표적인 치료로 사용이 증가하고 있다[2].

ECMO 네트워크인 세계에크모학회(Extracorporeal Life Support Organization [ELSO])가 2022년에 집계한 ECMO 사용 환자는 166,913명으로 이중 54%가 생존하였다. 또한, 2022년 2월 ELSO의 코로나-19 등록저장소(COVID-19 registry dashboard)에 등록된 ECMO 치료 환자는 북아메리카 8,384명, 유럽 2,634명, 아시아 태평양 199명 등으로 그 수가 증가하고 있어 ECMO 치료의 중요성은 더욱 강조되고 있다[3]. 국내도 국외 상황과 유사하게 기존의 심폐부전 환자의 치료와 더불어, 코로나바이러스감염증 2019 (Coronavirus disease 2019 [COVID-19])의 확산이 지속되면서 2021년 12월말에는 위중증 환자가 1,000명 이상으로 증가하여 ECMO 치료를 받는 환자는 63명이었다. 이에 의료 위기 상황을 고려한 ECMO 치료 권고안을 심장혈관 흉부외과학회와 질병관리청에서 발표하였다[4].

ECMO 치료는 중환자의 생존을 향상을 목표로 하지만, 치료하는 동안 발생하는 출혈, 감염, 용혈 및 혈관 손상 등의 합병증 관리 또한 간과할 수 없다[5]. 발표된 보고서마다 발생 빈도는 다르나 ECMO 치료 중 발생하는 합병증으로 ECMO 치료를 위한 항응고제 투여로 인한 2차적 출혈 40.8%, 감염 30.4%, 하지 허혈 10%, 용혈 5~8%가 보고되었다[6]. 또한 심인성 쇼크 및 심정지로 인해 ECMO를 적용한 환자에서 낮은 심장 박출량 및 혈액색소뇨 등으로 생기는 급성 신손상 55.6%, 저혈압으로 인한 뇌의 허혈성 손상이나 헤파린 사용으로 인한 뇌의 출혈성 손상과 같은 신경학적 합병증 13.3%, 구획증후군 10.3%, 뇌졸중 5.9%, 하지 말단부 순환 부전으로 인한 하지 절단 4.7% [6], 장시간의 부동 등[7]으로 인한 욕창 25.5% [8]로 보고되었다.

이와 같이 ECMO를 적용하는 환자들의 생존을 증가와 ECMO 치료 도중 발생하는 여러 가지 합병증의 예방 및 감소를 위해 ECMO 치료를 시행하는 국내 일부 병원에서는 숙련된 의료진으로 ECMO 전담팀을 만들어 병원 내 자체 교육을 통해 ECMO를 전문적으로 관리할 수 있도록 하고 있다[9]. 환자의 성공적인 치료를 위해서 ECMO 전담팀은 각 구성원이 전문적인 지식과 경험을 체득하고, 표준화된 원칙 하에 신속하고 정확하게 업무를 수행해야 하므로 ECMO 치료 팀에 속한 의사, 간호사 모두 ECMO 기계에 대한 지식뿐만 아니라 ECMO에 대한 전반적인 이해가 필

요하며[10], 이를 충분히 활용할 수 있는 기술을 갖추어야 한다.

더불어 ECMO의 유지 및 관리, 문제해결을 통해 합병증 최소화 등을 목표로 직접 간호를 시행해야 하는 중환자실 내 담당간호사들의 역할도 매우 중요하다. ECMO 치료를 받는 중환자를 담당하는 간호사는 환자의 ECMO 치료를 위한 팀원으로서 직접 간호를 제공할 뿐만 아니라 ECMO라는 장비의 설치 및 유지 관리와 ECMO 회로 및 카테터 교환까지 참여해야 하기 때문이다. 또한 ECMO 치료의 유지 관리는 대부분 담당 간호사에 의해 이루어지기 때문에 ECMO 치료를 받는 중환자를 간호하는 중환자실 내 담당간호사는 ECMO 치료에 의해 발생하는 여러 가지 문제를 파악하여 이를 적절하게 중재하는 매우 중요한 역할을 담당하게 된다[5]. 결과적으로 ECMO 치료를 받는 중환자를 간호하는 ECMO 전담간호사나 중환자실 내 담당간호사들의 직접 간호는 ECMO 적용 환자의 생존을 향상, 입원기간의 단축, 치료비용 절감 등과 높은 관련이 있으므로, ECMO와 관련한 간호사의 전문 지식과 관리 능력이 곧 ECMO 적용 환자의 치료 결과에 중요한 요소가 된다[6].

이에 ECMO 치료를 받는 환자에게 출혈, 감염, 하지 허혈, 용혈 및 혈관 손상, 낮은 심장 박출량, 급성 신손상, 저혈압으로 인한 뇌의 허혈성 손상이나 헤파린 사용으로 인한 뇌의 출혈성 손상과 같은 신경학적 합병증, 욕창[6,8] 등이 발생하지 않는 최선의 결과를 얻기 위해서는 이들 합병증을 예방 및 관리하기 위한 표준화된 질 높은 간호를 제공하는 것이 필요하다. 이는 ECMO 간호 행위에 대한 가장 최상의 근거를 기반으로 한 표준화된 간호 프로토콜의 적용으로 가능하다. 그러나 ECMO에 대한 표준화된 간호 프로토콜이 마련되어 있지 않아 국내[9]뿐만 아니라 국외에서도 병원별로 프로토콜을 마련하여 각기 적용하고 있다 [11,12]. 더욱이 기존 지침들은 ECMO의 이해와 원리, 적응증과 금기증 등의 진료 영역에 대한 것으로, ECMO 치료 환자의 간호 사정 및 중재, ECMO 장비의 설치 및 유지 관리 방법, ECMO 회로 및 카테터 교환 등에 대한 내용을 모두 포함하고 있는 지침은 없었다. 진료지침에 일부 포함된 간호 행위 관련 내용인 감염 예방을 위한 항생제 투여 여부[5,13], 목표 체온 수준[5,13,14], 목표 평균 동맥압 수준[5,13], 혈류량 유지[5,12], 이뇨제 사용[5,6] 등은 지침에 따라 내용에 차이가 있었다. 또한 욕창관리 [5,12,13], 영양관리[5,13] 등에 대한 구체적인 간호내용을 포함하고 있는 지침은 없었고, 표준화된 간호 프로토콜을 적용하여 그 효과를 평가한 연구도 찾아볼 수 없는 상황이다. 아울러, 최근 ECMO와 관련하여 국내에서 시행된 연구로는 ECMO적용 중 환자의 영양지표를 비교한 간호연구[15]가 있었고, 국외 연구로는 COVID-19 환자에게 2017년 ELSO의 진료 지침을 보완하여

적용한 연구[16], ECMO를 적용하는 외상 환자에 대한 사례 연구[17], COVID-19 환자에게 필요한 간호에 대한 사례 연구[18]가 있었다. 이에, 본 연구에서는 현재 개발되어 사용 중에 있는 ECMO 프로토콜들을 기반으로 수용개작의 방법을 통해 ECMO 간호 프로토콜을 개발하고 그 효과를 평가하고자 한다.

2. 연구의 목적

본 연구는 ECMO를 적용하는 중환자를 간호하는데 필요한 근거 기반 간호 프로토콜을 개발하고, 이를 적용하여 효과를 평가하기 위함이며, 구체적인 목적은 다음과 같다.

- 1) ECMO 적용 환자를 위한 근거 기반 간호 프로토콜을 개발한다.
- 2) ECMO 적용 환자를 위한 근거 기반 간호 프로토콜의 효과를 환자와 간호사 측면에서 검증한다.

연구 방법

본 연구는 수용개작 방법을 활용하여 ECMO 치료를 받는 중환자를 위한 근거 기반 ECMO 간호 프로토콜을 개발하고, 이를 적용하여 간호 프로토콜의 효과를 검증하기 위한 유사실험 연구로 다음과 같이 진행하였다.

1. ECMO 간호 프로토콜 개발

1) 간호 프로토콜 개발을 위한 전문가 구성

수용개작을 위해 기존 지침 평가 및 타당도 검증을 위한 전문가 그룹을 연구자를 포함하여 10년 이상의 중환자실 경력 간호사 4인으로 구성하였다.

2) 간호 프로토콜 검색과 선별

(1) 핵심 질문 선정

지침의 범위는 임상진료지침 수용개작 매뉴얼 Ver 2.0 [19]에서 권고하고 있는(Patient/Population, Intervention, Professionals/Patients, Outcomes, Healthcare setting [PIPOH]) 양식에 따라 결정하였으며, 정해진 범위에 포함되는 내용을 핵심질문으로 구성하였다(Supplementary Table 1).

(2) 간호 프로토콜 검색

ECMO 간호 프로토콜과 관련된 문헌을 검색하기 위해 국내외 간호 프로토콜을 검색하였고, 검색사이트로는 체외막산소화장치 지침과 관련된 협회인 ELSO, 대한흉부혈관심장외과학회(Korean Society for Thoracic & Cardiovascular Surgery), 미국심장협회(American Heart Association), 유럽심장협회(European

Society of Cardiology)를 포함했고, 포괄적인 검색을 위한 일반 검색사이트인 PubMed, Cochran library, Research Information Sharing Service (RISS), Korean Studies Information Service System (KISS), Google, Google Scholar를 포함시켰다. 검색은 간호 프로토콜 범위와 핵심질문에 기초하여, ECMO와 근거간호/실무지침을 검색어로 조합하여 간호 프로토콜만을 검색하였고, 사용 언어는 영문과 국문이었다. 검색기간은 2009년부터 성인 중환자를 대상으로 ECMO 적용이 활성화된 점[20]과 실무에서 지침의 내용이 삭제되거나 변화된 것이 거의 없음을 고려하여 2009~2019년으로 하였다. 검색어는 ECMO와 Nursing protocol 관련 의학주제어(Medical Subject Heading [MeSH])로 하여, 영문은 ECMO Treatments, Extracorporeal Membrane Oxygenations, Extracorporeal Life Support (ECLS), ECLS Treatment와 guideline, practice guideline, evidence-based practice, evidence-based nursing을, 국문은 체외막산소화장치 간호, 근거기반/근거중심, 실무/간호/지침/중재, 프로토콜을 조합하였다.

(3) 검색된 간호 프로토콜에 대한 선별

검색조건으로 검색된 지침 중에서 실무지침의 타당성, 최신성 등을 고려하여 다음의 포함·제외 기준에 따라 수용개작에 사용할 실무지침을 선택하였다. 포함 기준으로는 1) 근거중심 지침(체계적 문헌 검색에 대한 보고가 있고, 권고의 근거가 명확한 지침), 2) 국제 단체나 학회에서 개발한 지침, 3) 동료검토가 이루어진 지침, 4) 특정언어(영어, 한국어)로 작성된 지침이었다. 제외 기준으로는 1) 대표성 없는 단일저자 지침, 2) 참고문헌 없이 출판된 지침, 3) 최신성이 떨어지는 지침(최근 10년 이전에 개발된 지침), 4) 개정 진행 중인 지침, 5) 특정 영역에 국한되어 포괄성이 낮은 지침, 6) 원문을 구할 수 없는 지침으로 하여 간호 프로토콜을 선별하였다[21].

3) 간호 프로토콜 평가

선별된 간호 프로토콜의 권고안에 대한 수용성과 적용성은 appraisal of the guidelines for research and evaluation collaboration II (AGREE II) 도구를 이용하여 평가하였다.

4) 실무지침 초안 작성

실무지침 평가과정 결과를 토대로 연구진과 10년 이상 경력을 지닌 중환자실 간호사 6인이 실무지침 초안을 작성하였다.

5) 외부 검토 및 승인

작성된 수용개작 실무지침 초안을 본 연구가 시행된 기관에 근무하는 총 9인의 전문가 그룹(순환기내과 전문의 1인, 호흡기내과 전문의 1인, 중환자 전문 간호사 1인, 중환자실 근무경력 10년 이상인 중환자실 간호사 6인)의 검토 및 승인을 받아 최종 지침을 결정하였다. 타당도 검증에 참여한 중환자실 간호사는 실무지침 초안 작성에 참여하지 않은 간호사로 하였다.

2. ECMO 간호 프로토콜 효과 검증

1) 연구설계

본 연구에서 개발된 ECMO 간호 프로토콜을 적용하여 그 효과를 검증하기 위해 중환자실에서 ECMO 치료를 받는 환자를 대상으로 비동등성 대조군 사후 시차설계를 적용하였고, 중환자실에서 ECMO 치료 환자를 돌보는 간호사를 대상으로는 비동등성 대조군 전후설계를 적용하였다.

2) 연구가설

가설 1. ECMO 간호 프로토콜을 적용한 환자는 적용하지 않은 환자에 비해 생리적 지표가 호전될 것이다.

가설 2. ECMO 간호 프로토콜을 적용한 환자는 적용하지 않은 환자에 비해 합병증 발생이 적을 것이다.

가설 3. ECMO 간호 프로토콜을 적용한 간호사는 적용하지 않은 간호사에 비해 근거기반 실무 실행이 높을 것이다.

가설 4. ECMO 간호 프로토콜을 적용한 간호사는 적용하지 않은 간호사에 비해 ECMO 간호만족도가 높을 것이다.

가설 5. ECMO 간호 프로토콜을 적용한 후 간호사는 적용하지 않은 간호사에 비해 임파워먼트가 높을 것이다.

가설 6. ECMO 간호 프로토콜을 적용한 간호사의 ECMO 간호 프로토콜의 항목별 중요도 점수는 적용하지 않은 간호사에 비해 높을 것이다.

가설 7. ECMO 간호 프로토콜을 적용한 간호사의 ECMO 간호 프로토콜의 항목별 수행도 점수는 적용하지 않은 간호사에 비해 높을 것이다.

가설 8. ECMO 간호 프로토콜을 적용한 간호사의 의료 오류 발생은 적용하지 않은 간호사에 비해 낮을 것이다.

3) 연구 대상자

(1) 환자

본 연구의 대상은 충청북도 소재의 충북대학교병원 중환자실, 응급중환자실, 외상중환자실에서 ECMO 치료를 받는 만 18세 이상의 성인 중환자였다. 이들 중 지혈 불가능한 출혈이 동반된

경우, 파종성 종양, 이식 편대 숙주반응, 기존의 심각한 뇌손상(뇌의 출혈 및 경색 동반여부), 목격되지 않은 심정지 등으로 장시간의 심정지 상태의 환자는 연구 대상자에서 제외하였다. 대상자 수는 ECMO 프로토콜 적용의 효과를 알아본 연구가 없어 간호 프로토콜을 적용하여 욕창발생 효과를 알아본 선행연구[22]와 단일기관 연구인 점을 고려하여 G*Power 3.1을 이용하여 independent t-test, 효과크기 $d = .80$, 유의수준(α) .05, 검정력(β) .80, 양측검정으로 하여 실험군, 대조군 각각 26명, 총 52명으로 산출되어 52명을 대상으로 자료를 수집하였다.

(2) 간호사

본 연구의 대상은 충청북도 소재의 충북대학교병원 중환자실, 응급중환자실, 외상중환자실에서 근무하는 간호사 중 연구기간 내 ECMO 치료를 담당한 적이 있는 간호사로 18개월 이상의 중환자실(intensive care unit [ICU]) 근무 경력이 있는 간호사였다. 연구대상자 수 계산은 G*Power 3.1을 이용하였다. 간호사를 대상으로 한 근거기반 간호실무지침의 적용 효과를 알아본 선행연구[23]를 참고하고, independent t-test, 효과크기 $d = .80$, 유의수준(α) .05, 검정력(β) .80, 양측검정을 기준으로 하였을 때, 실험군, 대조군 각각 26명으로 산출되어, ECMO 환자를 돌보는 간호사 중 연구의 취지를 이해하며 연구 참가에 동의한 간호사를 대상으로 하였다. 그러나 간호사는 3교대를 하며, ECMO 치료를 받는 환자가 발생하는 시기를 예측할 수가 없어 간호사를 미리 실험군과 대조군으로 구분하여 무작위 배정할 수 없어, 간호사의 선호도를 존중하는 preference trial [24]을 적용하였다. 즉, ECMO 적용 환자가 발생하면 ECMO 간호 프로토콜을 이용하여 환자 간호에 참여하기를 원한 간호사를 실험군(포함 기준에 해당하는 환자 간호)으로, 기존의 경험적으로 해오던 방식의 간호 방법을 적용하여 환자 간호에 참여하기를 원한 간호사는 대조군(제외 기준 해당 환자 간호)으로 하여, 최종 실험군 31명, 대조군 27명을 조사하였다.

4) 연구 도구

(1) 환자 대상

Ghezeljeh 등[25]의 결과 지표인 생리적 결과(physiological outcomes)와 Doran [26]의 결과 지표인 합병증(adverse patient outcomes)으로 구분하여 측정하였다. 생리적 결과는 ELSO general guideline [5]에서 제시하는 지표로, ECMO 적용 기간 중의 평균 동맥압, 평균 산소포화도, 평균 중심정맥혈 산소포화도, 평균 체온이고, 합병증은 출혈 발생률, 감염 발생률, 하지 허혈 발생률, 용혈 발생률, 저혈량 발생률, 신경학적 합병증 발생률,

육창 발생률이다. 이들은 의무기록을 통해 조사하였다.

① 4개의 생리적 지표는 해당 값의 평균(지표별 측정된 값의 합/전체 측정 횟수)으로 산출하였고, 지표의 정의는 아래와 같다[5].

a. 평균 동맥압(mean arterial pressure [MAP]): ECMO를 적용한 시간 동안에 측정된 동맥압의 평균값이다(mmHg).

b. 평균 산소포화도(saturation of oxygen [SpO₂]): ECMO를 적용한 시간 동안에 측정된 말초 산소포화도의 평균값이다(%).

c. 평균 중심정맥혈 산소포화도(central venous oxygenation [ScvO₂]): ECMO 치료 중 우측 중심정맥에서 채혈한 ScvO₂의 평균값이다(mmHg).

d. 평균 체온(body temperature [BT]): 1시간 간격으로 측정된 체온의 평균값이다(°C)

② 합병증의 7개 비율지표 산출식과 정의는 아래와 같으며, ECMO 적용 기간 중 한번이라도 해당 기준에 부합하는 경우 발생한 것으로 측정하였다[5].

$$\frac{\text{각 지표에 해당하는 기준을 만족한 환자 수}}{\text{포함기준에 해당하는 ECMO 적용 환자 수}} \times 100$$

a. 출혈 발생률: 혈소판 <50,000/dL, 활성화된 프로트롬빈 타임 >70 sec, 조직 내의 출혈, 카테터 삽입 부위 출혈 중 한 가지라도 관찰되는 경우를 말한다.

b. 감염 발생률: 카테터 삽입부위에서 발적, 삼출물, 열감 중 한 가지라도 관찰되는 경우를 말한다.

c. 하지 허혈 발생률: 캐놀라 삽입 부위를 포함한 하지의 피부색 변화, 냉감, 무맥박 중 한 가지라도 관찰되는 경우를 말한다.

d. 용혈 발생률: Hemoglobin <10 g/dL인 경우를 말한다.

e. 저혈량 발생률: Hemoglobin <10 g/dL이면서 hematocrit <30%이거나 카테터 떨림 현상이 발생(chattering sign, kinking sign)하는 경우를 말한다.

f. 신경학적 합병증 발생률: 동공 움직임이 상위 단계에서 하위 단계(prompt → sluggish → fixed)로 변하거나, 의식의 변화(Glasgow comma scale 점수의 감소), 근력 점수(power) 저하 중 한 가지라도 관찰되는 경우를 말한다.

g. 육창 발생률: 1단계 이상의 육창이 발생한 경우를 말한다.

(2) 간호사 대상

근거기반 실무 실행, ECMO 간호 만족도는 선행연구에서 사용한 도구를 참고하여 수정보완한 후 간호학과 교수 1인, 10년 이상의 중환자실 경력 간호사 4인에게 내용 타당도를 검증받았으며, 모든 문항을 CVI 1.0으로 1차 검증 후 확정하였다. 임파워먼트와 간호 프로토콜의 중요도와 수행는 주어를 ECMO 간호로

바꾸어 사용하였다.

① 근거기반 실무 실행

근거기반 실무 실행은 Melnyk 등[27]이 개발한 Evidence-Based Practice Implementation Scale (EBPI) 한국어판을 Park과 Jang [28]이 수정·보완한 도구를 본 연구에 맞게 일부 수정하여 사용하였다. Melnyk 등[27]의 도구 18문항 중 본 연구에 적합하지 않은 문항은 제외하여 12문항으로 수정하였고, '나는 연구에서 나온 근거를 비판적으로 평가하였다', '나는 연구에서 나온 근거에 대해 동료와 비공식적으로 토론하였다' 등으로 구성되어 있다. 제외한 문항은 핵심질문(Patient/Population, Intervention, Comparison/Control, Outcomes [PICO])를 이용하여 질문을 도출하는 항목과 가족과 공유하는 항목 등 현 상황에 맞지 않는 항목이었다. 본 도구는 각 항목을 얼마나 자주 수행하였는가에 응답하도록 구성하였으며 각 문항은 0점(0회), 1점(1~3회), 2점(4~5회), 3점(6~7회), 4점(8회 이상)까지의 5점 Likert 척도이며, 최저 점수 0점에서 최고 점수 48점으로 점수가 높을수록 근거기반실무에 대한 행동과 기술을 자주 사용함을 의미한다. 도구의 신뢰도는 개발 당시 Cronbach's $\alpha = .95$ 였으며[27], Park과 Jang [28]의 연구에서는 .96, 본 연구에서도 .96이었다.

② ECMO 간호 만족도

대상자의 ECMO 간호 만족도는 Ko [29]가 개발한 간호사의 간호 프로토콜 적용 만족도 측정도구를 본 연구에 맞게 수정하여 사용하였다. 원도구 문항 중 본 연구에 맞지 않는 척추 수술과 관련된 문항을 제외하고 총 7개 문항으로 수정하였다. 본 도구는 '매우 그렇다' 5점, '그렇다' 4점, '보통이다' 3점, '그렇지 않다' 2점, '매우 그렇지 않다' 1점의 Likert 척도로 최저 점수 7점에서 최고 점수 35점으로 점수가 높을수록 ECMO 간호 만족도가 높은 것을 의미한다. 도구의 신뢰도는 개발 당시 Cronbach's $\alpha = .97$ 이었으며[29], 본 연구에서는 .85였다.

③ ECMO 간호 관련 임파워먼트

임파워먼트는 Spreizer [30]가 개발하고 Ryoo [31]가 수정·보완한 도구를 본 연구에 맞도록 주어를 ECMO 간호로 바꾸어 사용하였다. 본 설문지는 의미성, 역량, 자기 결정성, 효과성의 4영역에 각 3문항으로 구성 되어있고, 5점 Likert 척도로 최저 점수 12점에서 최고 점수 60점으로 높을수록 임파워먼트가 높은 것을 나타낸다. 도구의 신뢰도는 Spreitzer [30]의 연구에서 Cronbach's α 가 .72였으며, Ryoo [31]의 연구에서는 .88, 본 연구에서는 .93이었다.

④ ECMO 간호 프로토콜의 항목별 중요도와 수행도

Lee 와 Lee [32]가 개발한 간호 프로토콜의 중요도와 수행도 도구를 ECMO 간호 프로토콜의 항목별 중요도와 수행 빈도를 묻는 문항으로 수정하여 측정하였다. 본 도구는 회로의 유지 및 교환에 대한 회로관리 5문항, 혈액학, 환기, 진정, 혈류량, 체온, 신경학적 기능, 신장 기능, 영양, 감염, 출혈, 말초관류, 욕창, 채혈에 대한 환자관리 14문항으로 구성되었으며, '회로의 유지를 위해 적절한 항응고요법을 시행하였다', '진정제 적용의 필요성 유무를 판단하였다' 등의 항목으로 구성하였다. 중요도의 각 항목은 5점 Likert 척도로 '매우 그렇지 않다' 1점, '그렇지 않다' 2점, '보통이다' 3점, '그렇다' 4점, '매우 그렇다' 5점으로 측정하였으며, 최저 점수 19점에서 최고 점수 95점으로 점수가 높을수록 ECMO 간호 프로토콜의 항목별 중요도가 높은 것을 의미한다. 수행도의 각 항목은 '전혀 수행하지 않는다' 1점, '거의 수행하지 않는다' 2점, '가끔 수행한다' 3점, '자주 수행한다' 4점, '항상 수행한다' 5점으로 측정하였으며, 최저 점수 19점에서 최고 점수 95점으로 점수가 높을수록 ECMO 간호 프로토콜의 항목별 간호 수행도가 높은 것을 의미한다. Lee 와 Lee [32]의 연구에서 중요도와 수행도 신뢰도는 각각 Cronbach's $\alpha = .77, .78$ 이었고, 본 연구에서는 모두 .97이었다.

⑤ 의료 오류 발생

본 연구에서 의료 오류 발생은 의료 오류 발생 보고서를 이용하여 연구 참여 간호사가 ECMO 간호를 수행하는 과정에서 발생한 의료오류를 자가 보고를 통해 조사하였다. 문제의 종류를 구분하기 위해 투약 오류, 검사 오류, 시술 및 처치 오류, 기타로 구분하여 응답하도록 하였고, 문제의 내용을 정확히 파악할 수 있도록 문제 내용을 상세히 서술하도록 하였다.

5) 실험 처치

(1) 실험군과 대조군 간호사 대상 ECMO 교육

ECMO 간호 프로토콜을 적용하기 전, 응급중환자실, 중환자실, 외상중환자실의 간호사 전체를 대상으로 교대 근무를 고려하여 3개 그룹으로 나누어 ECMO의 이해, 기존의 ECMO 간호에 대해 파워포인트와 인쇄물을 이용하여 회당 2시간씩, 총 2회 강의 교육을 하였다.

(2) 실험군: ECMO 간호 프로토콜 적용

실험군에게는 책자로 만든 ECMO 간호 프로토콜을 나누어 준 후 ECMO 치료를 받는 환자를 간호할 때 책자를 활용하여 프로토콜대로 간호하도록 하였다. ECMO 간호 프로토콜 적용 시점이

COVID-19 감염 유행 상황이라 ECMO 간호 프로토콜에 대한 교육은 시행하지 않았고, 실험군이 궁금한 점이 있는 경우 연구자가 전화나 대면을 통해 프로토콜의 내용을 설명하였다.

(3) 대조군: 일상적 ECMO 간호 적용

대조군에게는 기존에 일상적으로 ECMO 환자에게 하던 간호(인공호흡기 간호, 출혈 환자 간호, 혈전 예방 간호 등 해당 상황에 따라 일상적으로 하던 간호)를 적용하도록 하였고, 사후 자료 조사를 마친 후 ECMO 간호 프로토콜을 제공하였다.

6) 자료수집 방법

(1) 환자

중환자실에 입원하여 ECMO 치료를 받은 자 중 대상자 선정기준을 충족한 환자를 대상으로 본 연구자가 생리적 지표 기록지를 이용하여 전자의무기록을 통해 2020년 8월부터 2021년 4월까지 조사하였다. 대조군은 2019년 4월부터 2020년 8월까지 입원하여 치료받은 환자였고, 실험군은 2020년 9월부터 2021년 3월까지 입원하여 치료받은 환자였다.

(2) 간호사

일반적 특성, 근거기반 실무실행, 임파워먼트, ECMO 간호 프로토콜 적용 만족도, 항목별 중요도, 항목별 수행도, 오류발생건수를 조사하였다. 사전조사는 ECMO 근거기반 간호 프로토콜을 적용하기 전 2020년 7월 한 달간 조사하였다. ECMO 프로토콜 배포 전에 연구 참여에 동의한 간호사에게 설문지를 배부하고, 작성 후 밀봉봉투에 담아 바로 수거하였다. ECMO 간호 프로토콜 개발을 마친 2020년 9월에 실험군 간호사에게는 프로토콜을 배포하여 환자 포함기준에 맞는 ECMO 환자를 간호하도록 하였고, 대조군 간호사에게는 프로토콜을 배포하지 않고 환자 제외기준에 맞는 ECMO 환자를 간호하도록 하였다. 실험군 환자의 표본이 충족된 2021년 3월에 환자의 자료수집을 마치고 실험군과 대조군 간호사들에게 사후 설문을 시행하였다. 사후조사는 연구 참여 대상자에게 개별적으로 설문지를 배부하여 작성 후 밀봉봉투에 담아 수거하는 방법으로 이루어졌다.

7) 자료 분석 방법

수집된 자료는 IBM SPSS 23 (IBM Co., Armonk, NY, USA)과 SAS 9.4 (SAS Institute, Cary, NC, USA)를 이용하여 분석하였다. 대상자의 특성은 빈도와 백분율, 평균, 표준편차의 기술 통계로 분석하였다. 실험군과 대조군의 환자 및 간호사의 동질성 검정은 χ^2 test, independent t-test로 분석하였다. 환자 대상 실

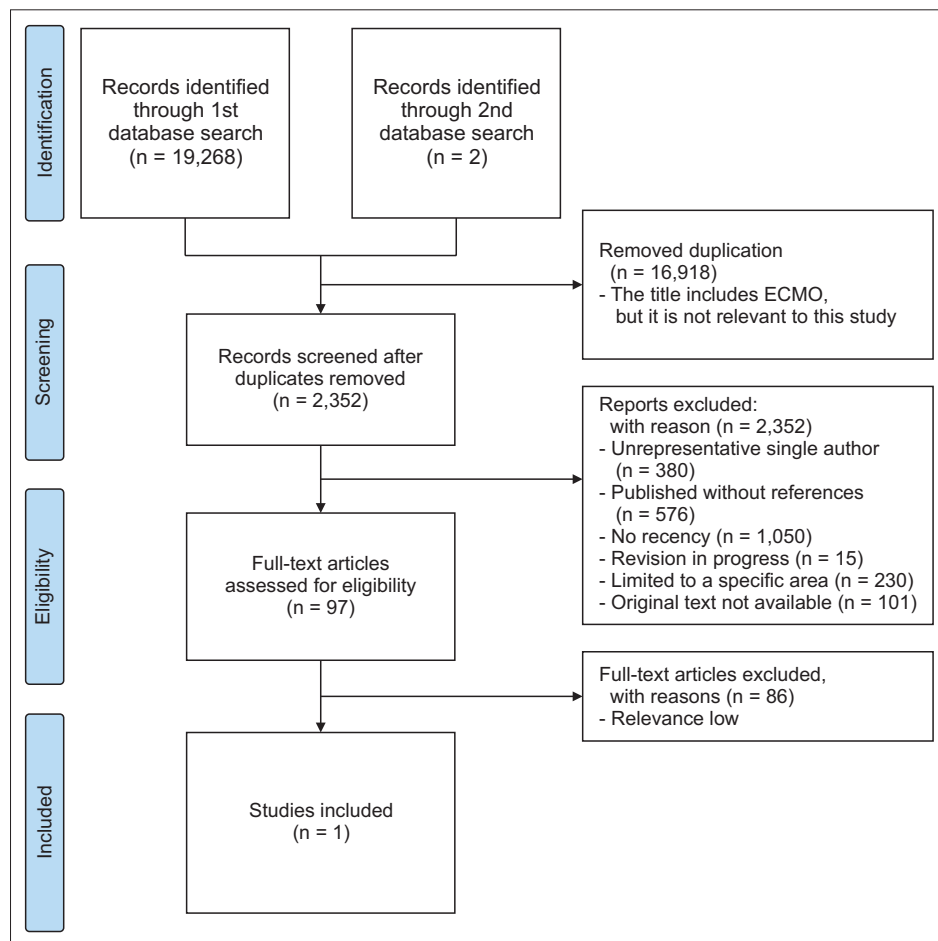
험군과 대조군의 평균 동맥압, 평균 중심정맥혈 산소포화도 차이는 정규성을 만족하여 independent t-test로 검정하였고, 평균 산소 포화도와 평균 체온의 차이는 정규성을 만족하지 않아 Mann-Whitney U-test로 검정하였다. 환자 대상 실험군과 대조군의 합병증 발생률의 차이는 χ^2 test로 검정하였다. 간호사 대상 실험군과 대조군의 근거기반 실무실행, ECMO 간호 만족도, 입파 워먼트, ECMO 간호 프로토콜의 중요도와 수행도 차이는 두 군 간에 교육 수준이 차이가 있어 이를 공변량으로 하여 ANCOVA로 분석하고, 의료요류 발생 차이는 사전 발생 빈도를 보정하기 위해 generalized estimating equation를 이용하여 분석하였다.

8) 윤리적 고려

본 연구는 충청북도에 위치한 충북대학교병원 윤리위원회의 심의(CBNUH 2020-06-014-003)를 거쳐 연구 승인을 받은 후 진행하였고, 대조군 환자의 경우 ECMO 간호 프로토콜 적용 전

2019년도부터 후향적으로 조사할 것을 명시하였다. 본 연구는 환자 대상자의 경우, 연구진이 환자와 대면하지 않고 전자의무기록 검토를 통해 자료를 수집하므로 피험자 동의면제로 승인을 받았다. 개인정보는 수집하지 않았으며 연구 ID를 통해 대상자를 구분하였다.

간호사 대상자에게는 연구의 목적과 절차, 연구에 참여함으로써 예견되는 위험성 및 불편, 연구대상자의 익명성과 비밀유지에 대한 설명을 하고, 수집된 자료는 연구목적으로만 사용할 것이며 본인이 원할 경우 언제든지 철회가 가능함을 설명하고 연구 참여에 자발적으로 서면동의를 받았다. 또한 대상자들의 정보보호를 위해 컴퓨터 파일에는 대상자 고유번호를 부여하고, 대상자의 신원을 알 수 있는 정보는 모두 삭제하였다.



ECMO = Extracorporeal membrane oxygenation.

Figure 1. Flow diagram of guideline selection.

Table 1. ECMO Nursing Protocols

Scope	Nursing care	Nursing action
Circuit managements		
1. Circuit maintenance and exchange of circuits	1) Application of anticoagulant therapy to prevent thrombus formation and manage circuit coagulation	(1) Check for bleeding (2) Maintain complete blood cell (CBC): hemoglobin > 10 g/dL, hematocrit > 30%, platelet > 50,000 (3) Maintain activated prothrombin time activated prothrombin time (aPTT): 55~75 sec (4) Inject anticoagulant according to prescription
	2) Maintaining the function of oxygenator membrane during ECMO treatment	(1) Check pressure of pre and post membrane lung to evaluate the presence of clots in the membrane (2) Check for arterial blood gas analysis (ABGA) from post membrane and check level of Partial O ₂ saturation to evaluate membrane function (3) Venoartery ECMO: check level of central venous oxygen saturation (ScvO ₂) from pre-membrane (4) Check for clots in oxygen membrane (5) Check for the connection status of gas blender and oxygenator regularly
	3) Preventing pump hemolysis	(1) Monitor the signs of pump hemolysis 1-1. Plasma hemoglobin > 50 mg/dL 1-2. Sudden elevated lactic dehydrogenase (LDH) 1-3. Changed urine color (hemoglobin urine)
	4) Maintaining the catheter and lines	(1) Immobilize the insertion site and check frequently (2) Check the skin color of the insertion site (3) Carefully observe whether the dressing has come off due to bleeding or exudation at the insertion site (4) Make sure that the catheter is not pulled or pressed during position change, patient movement, or examination
	5) Monitoring the signs of circuit change	(1) Check for circuit clotting resulting in decreased ECMO flow (2) Check for the oxygenation membrane coagulation. (3) Check for patient oxygenation (arterial O ₂ saturation [SaO ₂] < 85%) and post membrane partial O ₂ saturation (PO ₂) < 200 mmhg (4) Check for patient CO ₂ removal (partial CO ₂ saturation [PCO ₂] > 50~60 mmhg) necessitating fresh gas flow >10 L/min (5) Check for transmembrane pressure gradient (> 100 mmhg at ECMO flow 4 L/min)
Patient managements		
1. Hemo-dynamics	1) Assessing if hemodynamics is maintained	(1) Check the pulse (in the case of veno-artery ECMO, if the flow revolutions per minute [RPM] is high, the pulse may not be palpable); femoral or carotid pulse (2) Check for cardiac output (CO) of ECMO (Determination of maintenance range based on how much target cardiac output is)
	2) Maintaining normal hemodynamics	(3) Check for edema (4) Check for skin color (pink, dusky, mottled) (5) Check for warmth of extremities (6) Monitor left ventricular contraction
2. Ventilation	1) Assessing if ventilation is maintained	(1) Check for ventilator setting 1-1. Check if trying to decrease to the target of fraction of inspired oxygen (FiO ₂) < 30% 1-2. Setting positive end expiratory pressure (PEEP) usually set between 5~15 cm H ₂ O 1-3. Setting low respiration rate
	2) Maintaining normal ventilation	1-3. Setting low respiration rate 1-4. Setting long inspiratory time 1-5. Setting low plateau inspiratory pressure (under 30 cm H ₂ O)

Table 1. Continued

Scope	Nursing care	Nursing action
3. Body temperature	1) Controlling normal body temperature	(1) Check for skin: chilling sense, febrile sense, coldness, muscle tremors (2) Recognize that sedation is necessary during hypothermic therapy: check for mental signs (3) Use a warmer or cooler if necessary (4) Control hidden fever: supply acetaminophen
4. Bleeding	1) Assessing signs of bleeding 2) Preventing bleeding	(1) Assess signs of bleeding (cannula insertion site, gastrointestinal bleeding) (2) Hourly cannula site assessment: check that the catheter insertion site is firmly fixed (3) Activated prothrombin time, hemoglobin, platelets count monitoring (4) Maintain enteral feeding if tolerated; ulcer prophylaxis—supply H2 Blocker, proton pump inhibitor (PPI) (5) Check for blood loss strictly (6) Ensure current cross matched pack red blood cell (PRBC) and give blood products as ordered
5. Infection	1) Assessing signs of infection 2) Preventing infection	(1) Monitor infection, bleeding, inflammation on insertion site (2) Aseptic and frequency dressing (3) Start to administrate prophylactic antibiotics: appropriate antibiotic is applied according to the culture result (4) Consider exchanging catheters and circuits only when infection is caused by ECMO
6. Distal perfusion	1) Assessing distal perfusion 2) Preventing limb ischemia	(1) Check for color, coldness, pulse 1-1 Veno-artery femoral cannulation: the circulation of both legs must be carefully monitored 1-2. If necessary, insert a distal perfusion line
7. Blood volume	1) Assessing blood volume 2) Maintaining blood volume	(1) Check for tubing chattering & swinging or kinking 1-1. Ensure adequate volume status: correct hypovolemia 1-2. Check for patient positioning 1-3. Check for cannula kinking 1-4. Check for malpositioned cannula 1-5. Check for cannula size 1-6. Inspect tubing and cannula for kinking 1-7. Ultra for presence of any thrombus/clotting (2) Check for body weight and intake/output (3) Check for daily complete blood cell
8. Neurologic function	1) Checking neurologic function	(1) Assess the pupil response at regular intervals (2) Assess the GCS, motor the function (3) Assess the pain and sedation scoring (4) Recognition of sedation vacation is very important (5) Elevate head to increase venous return (6) Provide a stable and quiet environment (7) If there is heavy sedation or neuro-muscular blockade: electroencephalogram (EEG) is recommended for monitoring subclinical seizure activity
9. Sedation	1) Assessing if sedatives are needed 2) Applying effective sedation	(1) Evaluate the patient's pain and sedation status through GCS and sedation scale (2) Sedation is not absolutely mandatory for Veno-veno ECMO, but endotracheal intubation can be implemented when necessary due to weakened spontaneous breathing (3) Effective sedation prevents decannulation and perfusion line occlusion from patients pulling on cannulas and tubes as patient's anxiety, motion, and coughing decrease through sedation

Table 1. Continued

Scope	Nursing care	Nursing action
10. Pressure injury	1) Checking to prevent pressure injury	(1) Frequently check the circulation, sensation, and skin condition of areas that are easily pressed by any pressure (2) Use an effective mattress (3) Perform position change (log rolled) at least every two hours (4) Keep in mind circuit and cannula safety and direct turning. Be careful not to pull!
11. Kidney function	1) Checking kidney function	(1) Check for hour urine > 20 cc (2) Monitor blood urea nitrogen/creatinine (BUN/Cr) (3) Check for intake/output (I/O) balance
12. Nutrition	1) Assessing nutrition	(1) Check nutritional status (2) Check daily calorie intake (3) Monitor nutritional indicators (e.g., blood protein and albumin levels, body weight, etc.)
13. Blood sampling	1) Blood sampling during ECMO	(1) Connect the syringe to the 3-way attached to the sample port and open the 3-way (2) Connect the syringe to the 3-way attached to the sample port and open the 3-way (be sure to check that the circuit, the 3-way connection part, is tight) (3) The required amount of blood should be drawn and collected after the blood drawn by positive pressure is discarded (4) Block the 3-way connected to the ECMO circuit (5) Close the 3-way sample port and remove the syringe

ECMO = Extracorporeal membrane oxygenation; GCS = Glasgow coma scale.

연구 결과

1. ECMO 프로토콜 개발

지침의 범위는 ECMO를 적용하는 환자에게(patient) ECMO 프로토콜을 적용함으로써(intervention) 의료기관의 중환자실(healthcare setting)에 근무하는 중환자실 간호사가(professionals) 환자의 생리적 결과와 합병증 발생 감소에 기여하는(outcomes) 것으로 하였다.

ECMO 관련 프로토콜은 데이터베이스 검색을 통해 총 19,270편이 검색되었고, 이 중 중복되거나 본 연구와 관련성 없는 지침 16,918편을 제외하였다. 다음으로 초록을 확인하여 2,352편 중에서 제외기준에 해당되는 2,255편을 제외하였다. 이후 진료 지침 내용이 없이 환자의 치료 결과만을 보고하였거나 본 연구와 관련성이 없는 문헌 86편을 배제하여 11편의 지침을 선별하였다(Figure 1). 이들 11개의 지침을 평가하여 수용개작에 활용할 지침을 선택하였다. 연구자를 포함한 10년 이상의 중환자실 경력을 지닌 중환자실 간호사 4인이 AGREE II 도구를 이용하여 6개 영역(범위와 목적, 이해당사자의 참여, 개발의 엄격성, 명확성과 표현, 적용성, 편집 독립성)과 전반적인 평가 및 추천 여부에 대해 독립적으로 평가하였다. 지침을 평가한 결과 영역별 표준화 점수는 최저 46.4에서 최고 98.6점이었다. 개발의 엄격성 영역에서 표준화 점수가 50% 이상이어야 채택될 수 있는[30] 조건에 부합되

는 지침은 5개로, ELSO에서 개발한 ECMO 지침[5], 삼성서울병원 지침[9], Wisconsin University Hospital 지침[12], Liverpool University Hospital 지침[14], Hartford Hospital 지침[33]이었다. 이 지침에는 본 연구의 핵심질문에 대한 내용이 모두 포함되어 있어 최종 이 5개의 지침을 선택하였다.

선별된 지침에서 다루는 내용을 분석하여 지침 범위에 따라 13개 항목, 총 25개의 핵심질문을 정리하였다(Supplementary Table 1). 핵심 질문에 따라 ECMO 간호 프로토콜을 크게 회로 관리와 환자관리로 구분하여 13개 항목에 대해 초안을 개발하였다. 회로 관리에는 회로의 유지 및 회로 교환에는 혈전 생성 예방과 회로 응고 관리를 위한 항응고요법 적용하기, ECMO 적용 시 산소막(oxygenator membrane)의 기능 유지하기, 펌프 용혈(pump hemolysis) 예방하기, 카테터 및 회로선(line) 유지하기, 회로 교환의 필요성을 알려주는 징후 파악하기를 세부 내용으로 포함하였다. 환자 관리에는 혈액학, 환기, 진정, 혈류량, 체온, 신경학적 기능, 신경 기능, 영양, 감염, 출혈, 말초 관류, 욕창, 채혈에 관한 내용을 포함하였다. 각 항목에 대한 세부내용을 살펴보면, 혈액학 상태를 사정하여 적정 혈액학을 유지하는 간호, 적절한 환기 상태가 유지되는지 사정하여 적절한 환기가 공급되도록 할 수 있는 중재, 진정의 필요성을 사정하여 필요시 효과적으로 적절한 진정 방법을 적용하는 간호, 혈류량을 확인하여 ECMO 적용 동안 혈류량이 부족하지 않도록 유지하는 간호를 제시하였

Table 2. Differences in General Characteristics between Experimental and Control Groups

Patients (N = 52)					
Variables	Categories	Cont. (n = 26)	Exp. (n = 26)	t/ χ^2	p-value
		n (%) or M $\pm$ SD	n (%) or M $\pm$ SD		
Sex	Male	22 (84.6)	22 (84.6)	0.00	> .999
	Female	4 (15.4)	4 (15.4)		
Age (yr)	< 50	5 (19.2)	4 (15.4)	1.45	.669 [†]
	50~70	15 (57.7)	15 (57.7)		
	> 70	6 (23.1)	7 (26.9)		
Primary diagnosis	Cardiology	19 (73.1)	17 (65.5)	1.77	.620 [†]
	Pulmonology	5 (19.2)	7 (26.9)		
	Trauma	2 (7.7)	1 (3.8)		
	Postpartum	0 (0.0)	1 (3.8)		
APACHE II score		31.60 $\pm$ 9.30	28.20 $\pm$ 10.80	1.22	.436
Mean arterial pressure (MAP, mmhg)		45.00 $\pm$ 10.10	44.20 $\pm$ 11.10	1.37	.772
Mean saturation of peripheral oxygen (SpO ₂ , %)		71.00 $\pm$ 2.00	70.10 $\pm$ 1.80	1.24	.335
Mean body temperature (BT, °C)		36.10 $\pm$ 1.10	35.90 $\pm$ 1.00	1.18	.785
Braden scale (Initial)		10.50 $\pm$ 1.80	10.20 $\pm$ 1.70	0.38	.296
Glasgow coma scale (Initial)		8.50 $\pm$ 1.30	10.60 $\pm$ 2.10	- 1.78	.603
Pupil size (Initial, mm)		2.60 $\pm$ 0.70	3.00 $\pm$ 0.90	- 1.23	.641
Pupil light reflex (Initial)	Yes	25 (96.1)	23 (88.5)	1.42	.492 [†]
	No	1 (3.9)	3 (11.5)		
Power		3.54 $\pm$ 1.42	3.46 $\pm$ 1.55	0.19	.642
Hemoglobin (Initial, g/dL)		12.40 $\pm$ 2.19	11.10 $\pm$ 1.88	- 1.07	.394
Hematocrit (Initial, %)		37.60 $\pm$ 7.29	39.30 $\pm$ 6.92	0.29	.930
ECMO Type	Veno-artery type	21 (80.8)	20 (76.9)	0.16	.734
	Veno-veno type	5 (19.2)	6 (23.1)		
ECMO duration (d)		6.35 $\pm$ 7.04	6.58 $\pm$ 5.87	- 0.13	.898
Continuous renal replacement therapy (CRRT)		8 (30.8)	7 (26.9)	0.12	.761
Targeted temperature management (TTM, °C)		5 (19.2)	4 (15.4)	0.16	.853 [†]
Nurses (N = 58)		Cont. (n = 27)	Exp. (n = 31)		
Gender	Men	2 (7.4)	3 (9.7)	0.09	.759 [†]
	Women	25 (92.6)	28 (90.3)		
Age (yr)	23~30	25 (92.6)	25 (80.6)	1.43	.117 [†]
	> 30	2 (7.4)	6 (19.4)		
Education	3-year nursing college	0 (0.0)	8 (25.8)	8.08	.005 [†]
	4-year nursing college	27 (100.0)	23 (74.2)		
Frequency of ECMO education		1.44 $\pm$ 0.50	1.77 $\pm$ 0.90	1.67	.102
Frequency of evidence-based practice education		1.15 $\pm$ 0.50	1.26 $\pm$ 0.60	0.68	.502
Clinical total career (yr)	1.5~3	6 (22.2)	5 (16.2)	1.69	.059 [†]
	4~6	20 (74.1)	21 (67.6)		
	7 or more	1 (3.7)	5 (16.2)		
Average work experience in the current ICU career (yr)	1.5~3	6 (22.3)	12 (38.7)	1.37	.326 [†]
	4~6	20 (74.0)	17 (54.8)		
	7 or more	1 (3.7)	2 (6.5)		

Cont. = Control group; Exp. = Experimental group; M = Mean; SD = Standard deviation; APACHE II = Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II; ECMO = Extracorporeal membrane oxygenation; ICU = Intensive care unit.

[†]Fisher's exact test.

다. 또한 적정 체온을 유지할 수 있고, 신경학적 기능과 신장 기능을 평가하여 ECMO 치료의 합병증을 최대한 줄일 수 있는 간호활동과 적절한 영양 상태 유지, 출혈·감염·욕창 예방, 말초 관류 유지, 정확하고 안전한 방법으로 채혈하여 ECMO 치료 평가 하기에 관한 내용이다. 이러한 초안에 대해 총 9인의 전문가가 내용 타당도를 평가하였으며(Supplementary Table 2), 25항목에 대한 전문가 평가 점수는 3.66~4.00점이었고, CVI는 1.00로 예비 ECMO 간호 프로토콜이 모두 타당하여 이를 최종 ECMO 적용 중환자를 위한 간호 프로토콜로 확정하였다(Table 1).

2. ECMO 간호 프로토콜 효과 평가

1) 대상자의 동질성 검증

본 연구의 환자 대상자는 성별, 연령, 진단명, 중증도(Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II score), 평균 동맥압, 평균 말초 산소포화도, 평균 체온, 욕창발생 위험 예측 점수, 신경학적 척도, 혈액학적 수치 및 ECMO Type 및 치료 기간, 지속적 신대체 요법 적용, 치료적 저체온 요법 적용에 대해 통계적으로 유의한 차이가 없어 두 집단은 동질하였다. 간호사는 교육 수준이 두 그룹간 통계적으로 유의한 차이가 있어, 간호 학사나

석사인 대상자가 대조군은 27명(100%)이었으나, 실험군은 23명(74.2%)으로 대조군의 교육수준이 통계적으로 유의하게 높았다($\chi^2 = 8.08, p = .005$). 그 외 일반적 특성과 종속변수는 실험군과 대조군 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 2).

2) 가설 검정

가설 1. 'ECMO 간호 프로토콜을 적용한 실험군은 대조군에 비해 생리적 지표가 호전될 것이다'는 ECMO 간호 프로토콜을 적용한 실험군과 적용하지 않은 대조군 간에 평균 동맥압, 평균 산소포화도, 평균 중심정맥혈 산소포화도, 평균 체온이 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않아($p > .05$) 지지되지 않았다(Table 3).

가설 2. 'ECMO 간호 프로토콜을 적용한 실험군은 대조군에 비해 합병증 발생이 적을 것이다'는 실험군과 대조군 간에 출혈 발생률, 하지 허혈 발생률, 용혈 발생률, 저혈량 발생률, 신경학적 합병증 발생률은 유의한 차이를 보이지 않았으나($p > .05$), 감염 발생률($\chi^2 = 4.95, p = .026$)과 욕창 발생률($\chi^2 = 3.52, p = .041$)은 통계적으로 유의한 차이를 보여 가설 2는 부분적으로 지지되었다(Table 3). 실험군과 대조군의 감염 발생률은 각각 30.8%, 61.5%였고, 욕창 발생률은 15.4%, 38.5%였다.

Table 3. Differences in Dependent Variables between Experimental and Control Groups of Patients

(N = 52)

Variables	Categories	Cont. (n = 26)	Exp. (n = 26)	t/Z/ χ^2	p-value
		M $\pm$ SD or n (%)	M $\pm$ SD or n (%)		
Physiological outcomes					
Mean arterial pressure (mmhg)		66.04 $\pm$ 15.81	73.12 $\pm$ 18.14	− 1.49	.692
Mean saturation of peripheral oxygen (%)		96.73 $\pm$ 2.03	95.65 $\pm$ 3.14	1.12	.261 [†]
Mean central venous oxygen saturation (mmhg)		63.15 $\pm$ 13.56	64.65 $\pm$ 10.56	− 0.44	.101
Mean body temperature (°C)		36.63 $\pm$ 1.16	36.16 $\pm$ 1.40	0.54	.589 [†]
Adverse patient outcomes					
Bleeding	Yes	22 (84.6)	19 (73.1)	1.04	.308 ^{††}
	No	4 (15.4)	7 (26.9)		
Infection	Yes	16 (61.5)	8 (30.8)	4.95	.026
	No	10 (38.5)	18 (69.2)		
Limb ischemia	Yes	20 (76.9)	20 (76.9)	0.00	> .999
	No	6 (23.1)	6 (23.1)		
Hemolysis	Yes	26 (100.0)	24 (92.3)	2.08	.149 ^{††}
	No	0 (0.0)	2 (7.7)		
Hypovolume	Yes	26 (100.0)	23 (88.5)	3.18	.074 ^{††}
	No	0 (0.0)	3 (11.5)		
Neurologic complication	Yes	15 (57.7)	16 (61.6)	0.80	.777
	No	11 (42.3)	10 (38.4)		
Pressure injuries	Yes	10 (38.5)	4 (15.4)	3.52	.041 ^{††}
	No	16 (61.5)	22 (84.6)		

Cont. = Control group; Exp. = Experimental group; M = Mean; SD = Standard deviation.

[†]Mann-Whitney U test. ^{††}Fisher's exact test.

가설 3. 'ECMO 간호 프로토콜을 적용한 간호사는 적용하지 않은 간호사에 비해 근거기반 실무 실행이 높을 것이다'는 실험군이 32.00점(± 9.21)에서 33.97점(± 8.32)으로 향상되었고, 대조군은 35.44점(± 10.61)에서 34.15점(± 11.03)으로 감소되었으나 두 군 간에 통계적으로 유의한 차이는 없어 지지되지 않았다($F = 0.01, p = .156$, Table 4).

가설 4. 'ECMO 간호 프로토콜을 적용한 간호사는 적용하지 않은 간호사에 비해 ECMO 간호만족도가 높을 것이다'는 실험군이 19.35점(± 3.92)에서 33.90점(± 0.91)으로 향상되었고, 대조군은 19.96점(± 2.71)에서 19.78점(± 2.65)으로 감소되어 두 군 간에 통계적으로 유의한 차이를 보여 지지되었다($F = 19.35, p < .001$, Table 4).

가설 5. 'ECMO 간호 프로토콜을 적용한 후 간호사는 적용하지 않은 간호사에 비해 임파워먼트가 높을 것이다'는 실험군이 37.81점(± 7.22)에서 57.39점(± 2.36)으로 19.58점(± 8.04) 향상되었고, 대조군은 34.81점(± 4.44)에서 35.37점(± 4.72)으로 0.56점(± 4.26) 향상되어 두 군 간에 통계적으로 유의한 차이를 보여 지지되었다($F = 3.35, p < .001$, Table 4).

가설 6. 'ECMO 간호 프로토콜을 적용한 간호사의 ECMO 간호 프로토콜의 항목별 중요도 점수는 적용하지 않은 간호사에

비해 높을 것이다'는 실험군이 84.06점(± 7.95)에서 94.00점(± 0.82)으로 향상되었고, 대조군은 76.07점(± 4.91)에서 74.78점(± 5.63)으로 감소되어 두 군 간에 통계적으로 유의한 차이를 보여 지지되었다($F = 4.41, p < .001$, Table 4).

가설 7. 'ECMO 간호 프로토콜을 적용한 간호사의 ECMO 간호 프로토콜의 항목별 수행도 점수는 적용하지 않은 간호사에 비해 높을 것이다'는 실험군이 78.90점(± 10.05)에서 93.19점(± 2.21)으로 14.29점(± 10.12) 향상되었고, 대조군은 72.19점(± 5.71)에서 74.96점(± 7.72)으로 2.78점(± 6.38) 높아져 두 군 간에 통계적으로 유의한 차이를 보여 지지되었다($F = 6.30, p < .001$, Table 4).

가설 8. 'ECMO 간호 프로토콜을 적용한 간호사의 의료 오류 발생은 적용하지 않은 간호사에 비해 낮을 것이다'는 실험군이 15건(48.4%)에서 6건(19.4%)으로 의료 오류 발생이 감소하였고, 대조군은 8건(29.6%)에서 8건(29.6%)으로 변화가 없었으나 두 군 간에 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않아 지지되지 않았다($\chi^2 = 1.48, p = .224$, Table 4).

논 의

본 연구에서는 수용개작 방법을 활용하여 ECMO 치료를 받는

Table 4. Difference in Dependent Variable between Experimental and Control Groups of Nurse

(N = 58)

Variable	Categories	Cont. (n = 27)	Exp. (n = 31)	F	p-value	Group χ^2 (p-value)	Time χ^2 (p-value)	Group $\times$ Time χ^2 (p-value)
		M $\pm$ SD or n (%)	M $\pm$ SD or n (%)					
Implementation of evidence-based practice	Pre-test	35.44 $\pm$ 10.61	32.00 $\pm$ 9.21	0.01 [†]	.156			
	Post-test	34.15 $\pm$ 11.03	33.97 $\pm$ 8.32					
	Difference	- 1.30 $\pm$ 10.87	1.97 $\pm$ 5.55					
Satisfaction of ECMO nursing	Pre-test	19.96 $\pm$ 2.71	19.35 $\pm$ 3.92	19.35 [†]	< .001			
	Post-test	19.78 $\pm$ 2.65	33.90 $\pm$ 0.91					
	Difference	- 0.19 $\pm$ 2.59	14.55 $\pm$ 4.05					
Empowerment of ECMO nursing	Pre-test	34.81 $\pm$ 4.44	37.81 $\pm$ 7.22	3.35 [†]	< .001			
	Post-test	35.37 $\pm$ 4.72	57.39 $\pm$ 2.36					
	Difference	0.56 $\pm$ 4.36	19.58 $\pm$ 8.04					
Importance of ECMO nursing practice	Pre-test	76.07 $\pm$ 4.91	84.06 $\pm$ 7.95	4.41 [†]	< .001			
	Post-test	74.78 $\pm$ 5.63	94.00 $\pm$ 0.82					
	Difference	- 1.30 $\pm$ 2.37	9.94 $\pm$ 8.21					
Implementation of ECMO nursing practice	Pre-test	72.19 $\pm$ 5.71	78.90 $\pm$ 10.05	6.30 [†]	< .001			
	Post-test	74.96 $\pm$ 7.72	93.19 $\pm$ 2.21					
	Difference	2.78 $\pm$ 6.38	14.29 $\pm$ 10.12					
Number of participants experienced medical error	Pre-test	8 (29.6)	15 (48.4)			1.48 (.224)	0.00 (> .999)	2.92 (.087)
	Post-test	8 (29.6)	6 (19.4)					

Cont. = Control group; Exp. = Experimental group; ECMO = Extracorporeal membrane oxygenation; M = Mean; SD = Standard deviation.

[†]ANCOVA results in which nurse's education level was a covariate.

중환자를 위한 체계적이고 표준화된 근거 기반 ECMO 간호 프로토콜을 개발한 후 해당 프로토콜을 상급종합병원 중환자실에 입실하여 ECMO 치료를 받는 환자들과, 이를 간호하는 간호사들에게 적용하여 효과를 알아보았다. 유사한 선행연구의 부족으로 인해 논의에 제한이 있으나, 본 결과에 대해 논의하고자 한다.

본 연구에서 개발한 ECMO 간호 프로토콜은 기존의 의사 치료에 초점을 두었던 ECMO 프로토콜과 달리 프로토콜 사용 주체를 ECMO 치료를 받고 있는 중환자를 담당하는 간호사에 두었다. 기존의 ECMO 진료지침은 ECMO 적응증과 금기증, ECMO 시작과 유지, ECMO 간호로 구성되어 있어 ECMO 간호가 ECMO 진료 지침의 일부분에 국한되어 있었다[11,12,34]. 뿐만 아니라 ECMO 치료를 받는 환자의 신경학적 변화를 확인하기 위해서는 신경계 환자 간호 프로토콜을 적용하고, 인공호흡기를 적용 중인 환자에게는 인공호흡기 간호 프로토콜을 적용하여, ECMO 간호에 대한 통합적인 지침의 적용에 한계가 있었다. 그러나 본 연구에서 개발한 ECMO 간호 프로토콜은 ECMO에 대한 전반적인 이해와 ECMO 간호 프로토콜로 나누어 구성하였으며, ECMO 간호 프로토콜은 회로 관리와 환자 관리로 나누어 총 25개의 간호 항목 각각에 대한 간호행위를 제시하였다. 특히, 인공호흡기 간호, 신경계 간호, ECMO를 통한 신대체 요법 병행 간호, ECMO 기능을 평가하기 위한 채혈 방법 또한 포함하여 ECMO 환자의 통합적인 간호가 가능하도록 하였다.

ECMO 환자의 효과적인 치료와 긍정적인 결과를 위해서는 잘 훈련된 간호사의 전문적인 간호가 필요하다. 이는 ECMO 치료를 받는 환자의 혈액학적 불안정 조절, 출혈 위험 예측, 신경학적 상태에 대한 민감하고 정확한 모니터링, ECMO 펌프 자체의 이해와 관리능력, 욕창 및 혈류 감염 예방 등이 전문적인 간호 분야이기 때문이다[35]. 이러한 전문적인 간호를 체계적으로 제공할 수 있도록 실무 활용에 용이한 ECMO 근거 기반 간호 프로토콜을 개발하였다는 점이 본 연구의 의의라고 할 수 있다.

미국중환자간호협회[36]에서는 중환자 간호는 기본적인 위생부터, 활력징후 측정을 포함하여 각종 검사 및 사정 결과를 바탕으로 환자의 상태를 신속하게 판단하여 결정함과 동시에 중요한 의료 장비를 관리하는 것까지 전반적인 간호를 의미한다고 하였다. 이러한 개념을 반영하여 본 연구에서 개발한 프로토콜에도 중환자실의 초응급 상황에서 표준화된 간호를 통해 의료 오류 발생을 줄이기 위해 기본적인 간호업무부터 장비 관리까지 세부적인 사항을 포함하였다. ECMO 각각의 정확한 명칭을 기재하였고, veno-veno (VV) ECMO 또는 veno-artery (VA) ECMO와 같이 적용 목적에 따라 삽입해야 하는 캐놀라가 다른 경우 각 유형에 따른 캐놀라의 굵기도 기재하였다. 또한 오류가 발생하기

쉬운 항응고요법 적용 시 약물의 농도, 검사 수치에 따른 약물 조절범위, 약물 투여 경로 등을 기록하였으며, ECMO 치료 시 발생하기 쉬운 합병증을 조기에 발견할 수 있도록 관련된 증상과 사정해야 할 징후들을 포함하였다. 이를 통해 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았으나 의료 오류의 건수 감소에 기여한 것으로 생각된다. 한편, 본 연구에서 ECMO에 대한 간호 프로토콜 개발 시 정확한 권고 등급을 제시하지 못한 한계점이 있었다. 이는 국내뿐만 아니라[9] 국외에서도 병원별로 프로토콜을 자체적으로 마련하여 적용[11,12]하고 있기 때문이다. 이에, ECMO 간호 각각의 근거 등급을 마련하기 위해 무작위 대조군 실험을 통한 효과 평가 연구가 요구된다.

본 연구에서 ECMO 간호 프로토콜의 적용 효과는 환자 측면과 간호사 측면으로 구분하여 평가하였다. 먼저 환자 측면에서 평가한 생리적 효과를 살펴보면, ECMO 간호 프로토콜을 적용한 실험군과 적용하지 않은 대조군 간에 MAP, 평균 SpO₂, ScvO₂, BT는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 그러나, MAP는 프로토콜 적용 전에는 66.04 mmhg이었으나, 프로토콜 적용 후에는 평균 73.12 mmhg로 상승되었다. 이는 간호사들에게 ECMO 치료를 하는 동안에 MAP를 적절하게 유지시켜 주는 것이 조직 관류 개선, 산소화 개선 등에 있어 무엇보다 중요한 요인이라는 것을 ECMO 간호 프로토콜을 통해 상기시켜 주었기 때문에 나타난 결과로 생각된다. 또한, ECMO 치료 시 생존율의 향상을 위해서는 환자의 자발 순환 및 환기에 의한 혈액학적인 안정과 각 장기의 기능 유지 등이 뒷받침되어야 하고 이를 위해 체내 산소화 및 혈압을 유지해야 한다[5]. ECMO 간호 프로토콜을 적용한 후 MAP가 상승된 것은 그 의미가 제한적이긴 하지만 표준화된 간호 제공이 환자의 혈액학적 안정에 기여할 수 있음을 시사한다고 하겠다. 아울러, 본 연구의 대상자 수가 적어 ECMO 간호 프로토콜이 SpO₂, ScvO₂, BT의 효과에 미치는 영향을 파악하는데 제한이 있었으므로, 보다 많은 대상자에게 ECMO 간호 프로토콜을 적용하여 그 효과를 평가하는 추후 연구가 필요하겠다.

본 연구에서 ECMO 간호 프로토콜을 적용하기 전에 발생한 합병증을 살펴보면 용혈과 저혈량은 100%, 출혈 84.6%, 하지허혈 76.9%, 감염 61.5%, 신경학적 합병증 57.7%, 욕창 38.5%였다. 이는 출혈 42.8%, 용혈 7.1%, 신경학적 합병증 6%를 보고한 Murphy 등[37]의 연구, 출혈 25%, 감염 6%, 신경학적 합병증 6%, 동맥 허혈 4%를 보고한 Aissaoui 등[38]의 연구, 출혈 12.5%, 하지 허혈 10.4%, 감염 2%를 보고한 Kim 등[39]의 연구보다 높았다. 본 연구의 합병증 발생 빈도가 선행 연구보다 높았으나, 선행연구에는 각 합병증에 대한 정의가 제시되어 있지 않아 합병증 발생 비율을 의미 있게 비교하는데 제한이 있다.

그러나 ECMO 간호 프로토콜을 적용한 후 ECMO로 인한 합병증 중 감염 발생률과 욕창 발생률이 통계적으로 유의하게 낮아졌다. 이는 기존의 ECMO 삽입 부위 드레싱은 삼출물 혹은 출혈 가능성에 대비하여 캐놀라 삽입 부위를 여러 장의 거즈로 덮어 테이핑 하는 방법으로 시행하여 욕창으로 삽입 부위의 상태를 관찰할 수 없어 감염의 위험성을 신속하게 확인할 수 없었다. 또한, 드레싱 부위가 혈액이나 삼출물로 인해 젖거나 더러워지지 않으면 ECMO 캐놀라의 발관 위험성 때문에 정규 드레싱을 시행하지 않아 감염 예방 간호가 일부 미흡하였다. 본 연구에서 개발한 ECMO 간호 프로토콜에는 캐놀라의 삽입 부위를 욕창으로 확인할 수 있는 드레싱 방법으로 변경하였고, 매일 드레싱을 시행하였으며, '욕창으로 보이는 오염 및 혈괴가 보이는 경우 수시로 드레싱을 시행'하는 내용을 추가하였다. 이와 같이 프로토콜을 변경하고 적용함으로써 감염 발생률을 줄일 수 있었다고 생각된다. 또한, ECMO 치료를 받는 환자는 ECMO 캐놀라를 포함하여 많은 튜브를 삽입하고 수액을 주입하는 정맥 주사로를 지니게 된다. 이에 따라 ECMO 캐놀라를 비롯하여 튜브의 의도치 않은 발관 위험도 높아져, 기존에는 체위 변경을 시행하지 않고 환자의 등에 손을 넣어 가볍게 마사지하거나 눌림 부위를 확인하여 마사지는 욕창 예방간호를 시행하였다. 그러나 본 연구의 프로토콜에는 ECMO 회로와 캐놀라가 당겨지지 않도록 단단한 고정과 더불어 비계획적 발관에 주의하도록 명시하였고, 두 시간 간격의 통나무 굴리기(log rolling) 방식의 체위 변경을 시행하도록 하였다. 이 결과, 욕창 발생 위험 부위에 대한 조기 사정과 동일 신체 부위에 대한 압박 시간 감소로 인해 욕창 발생률이 낮아진 것으로 생각된다.

한편, 본 연구에서 출혈, 용혈, 저혈량과 신경학적 합병증의 발생률이 대조군에 비해 실험군이 낮긴 하였으나 통계적으로 유의하지는 않았다. 본 프로토콜에서 출혈 예방을 위해 출혈 부위를 관찰하고 사정하는 부분을 강화하였으나, 출혈은 ECMO 치료를 받는 환자에게 필수적으로 사용하는 항응고제와 혈액 검사 수치, 질환의 상태에 영향을 많이 받기 때문에 효과가 적었던 것으로 생각된다. 또한 출혈의 대부분은 ECMO 삽입 부위와 관련되어 나타나므로 간호 중재로 조절하기엔 제한이 있었으며, 헤파린을 항응고제로 사용하는 경우 진정제 중단 유발 가능성[40]을 배제할 수 없었던 점도 출혈 발생 감소의 제한적 효과에 영향을 주었을 것으로 판단된다. 이에, HIT 사정과 HIT 발생 시 대처 방법 및 대체할 수 있는 약물을 ECMO 간호 프로토콜에 포함하는 것이 필요하겠다. 그렇지만, 본 프로토콜을 통해 항응고제의 정확한 용량과 정확한 사용법, 주입 경로를 명시하여 적용하도록 하였고, 항응고요법 적용 시 시행해야 하는 필수 검사와 약물 조

절 방법을 순서대로 제시한 것이 출혈 발생을 감소시키는데 부분적으로 영향을 주었으리라 생각한다.

ECMO 치료 시 발생하는 용혈과 저혈량도 환자의 임상 상태에 많은 영향을 받는다. 용혈은 혈장 유리혈색소(free hemoglobin)의 수치, 잘못된 캐놀라 위치, 캐놀라가 꺾인 경우, 캐놀라 크기가 작음에도 불구하고 펌프의 회전 속도를 증가시킬 때 주로 발생하고 저혈량으로도 이어질 수 있다[5]. 또한, ECMO drainage 캐놀라에 kinking 혹은 chattering sign (떨릴 떨린다)이 나타나면 순환 혈액량 감소를 야기하여 저혈량이 나타난다. 이는 환자의 조직 관류 저하로 인해 발생되는데, 혈액학적 불안정으로 ECMO 치료를 시작하게 되는 환자들의 경우 혈압곡선이 평균압으로 유지되기 때문에 순환 혈액량이 감소하게 되고 그로 인해 저혈량 상태가 되어 조직 관류 감소로 이어지기 때문이다. 본 프로토콜에서 용혈 및 저혈량 감소를 위해 ECMO 작동 시 캐놀라의 위치가 올바른지, 캐놀라의 크기가 환자의 체격에 적당한지, 혈전이 발생하지는 않았는지, 소변색이 적색으로 변하지 않았는지 등을 관찰하도록 하였다. 또한, ECMO 카테터의 흔들림의 원인을 명시하여 사정할 수 있도록 하였다. 이를 통해 용혈과 저혈량 발생이 감소하였으나 통계적인 유의성을 갖지는 않았다. 본 프로토콜에 포함하지 않았던 용혈의 중요한 지표인 유리혈색소의 측정, 의미 해석 및 적절한 유지 방법을 프로토콜에 포함하고, 혈량이 부족한 경우 대체할 수 있는 다양한 방법들을 프로토콜에 제시하는 것이 필요하다[36].

ECMO 치료를 받는 환자에게 신경학적 합병증이 발생하는 이유는 항응고제의 사용으로 인한 뇌출혈 발생 가능성, 장기간의 부동 상태 유지로 인한 혈전 등에 의한 뇌경색 발생 가능성 때문이다[5]. 이를 확인하기 위해서는 의식상태 사정이 중요하지만, ECMO 치료를 받는 환자에게는 환자의 불안과 불편감 완화를 위해 진정제를 투여함으로써 진정 상태를 지속적으로 유지하도록 해 왔다. 이로 인해 의식 수준의 확인이 어려워 신경학적 합병증을 예방하는데 제한이 있었다. 그러나, 본 프로토콜에서는 일시적으로 진정제 주입을 의도적으로 중단하는 '해파린유도성 혈소판감소증(Heparin-induced thrombocytopenia [HIT])'을 통한 의식 확인이 필수적임을 명시하여[5] 진정제 중단(sedation vacation)을 확보하도록 하였다. 그럼에도 진정제 중단은 혈액학적 안정과 호흡 안정이 뒷받침되어야 시행할 수 있어 환자의 상태에 따라 적용이 힘들었던 경우도 있었다. 이것이 신경학적 합병증 발생이 유의하게 감소하지 못한 결과에 일부 영향을 주었을 것으로 생각된다.

하지허혈은 프로토콜 적용군에서도 감소한 경향을 보이지 않았다. 하지 허혈은 굵은 ECMO 캐놀라로 인해 하지로 가는 순환

이 차단되는 경우에 발생하므로 ECMO의 시작과 유지, ECMO 캐놀라를 제거하기 위해 유량을 줄이는 종료 시점에서도 모두 나타날 수 있다[5]. 본 연구의 ECMO 간호 프로토콜에는 ECMO 삽입 부위의 말초관류를 유지하기 위해 피부색, 온도, 맥박을 확인하고 원위부에 순환 카테터를 삽입하도록 하였으나, 그 영향이 제한적이었던 것으로 생각된다. 이에, 하지허혈을 줄일 수 있는 효과적인 방법에 대한 연구가 필요한 것으로 생각된다.

본 연구의 ECMO 간호 프로토콜 적용이 통계적 유의성에 있어 제한이 있긴 하지만, 환자 측면에서 욕창 및 감염 발생 감소에는 긍정적인 영향을 주었다. 이는 중재 효과가 컸던 욕창 발생을 기준으로 표본크기를 산출하여, 욕창과 감염 이외의 지표에서는 통계적 유의성을 검증하기에 대상자 수가 적었던 점과 관련된 것으로 보인다. 또한, 후향적 조사로 시행되었으므로 추후 더 큰 표본을 대상으로 하는 전향적 무작위 대조군 연구를 하여 ECMO 간호 프로토콜의 적용 효과를 확인하는 연구가 필요하다.

ECMO 간호 프로토콜이 간호사에게 미치는 영향은 근거기반 실무 실행, 임파워먼트, ECMO 간호 프로토콜의 적용 만족도 중 요도 수행도, 의료 오류 발생의 6개 항목으로 확인하였다. 본 연구 대상자들의 근거기반 실무 실행은 32.00~35.44점이었다. 이는 Park과 Jang [28]의 14.25점, Melnyk 등[27]의 18.96점 보다 높았다. 그러나 ECMO 간호 프로토콜을 적용한 그룹과 그렇지 않은 그룹 간에 근거기반 간호 실무 점수 변화는 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다. 이는 정맥주입요법지침 실무 적용 프로그램이 근거기반 실무의 실행점수를 유의하게 높였던 Hong과 Eun [23]의 결과와는 차이를 보였다. 실무 현장에서 많은 간호사들이 근거기반 실무 실행을 통해 최상의 간호 실무를 제공함으로써 비용 효과적인 간호를 제공하고 개선시킬 수 있음을 인지하고 있고 87%가 필요성을 공감하고 있으나, 21.6%는 근거 중심에 대해 잘 알지 못하기 때문에 실행율은 낮은 것으로 보고하고 있다[40]. Park과 Jang [28] 또한 임상간호사의 근거기반 실무 실행에 대한 지식/기술은 실행에 직접적인 영향을 미치지 않고 근거기반 실무 실행에 대한 신념이나 태도가 영향을 미친다고 하였다. 본 연구에서 적용한 ECMO 간호 프로토콜은 ECMO 간호와 관련된 지식 및 기술에 대한 것으로 ECMO 간호와 관련된 지식을 높이고 행동은 개선할 수 있지만, 일반적인 근거기반 간호 실무에 대한 내용은 포함되어 있지 않았기 때문에 근거기반 실무 실행도를 향상시키지는 못한 것으로 보인다. 지식만으로는 행동 변화가 일어나지 않으므로[27], 간호사의 근거기반 실무 실행의 향상을 위해서는 근거기반 실무 실행에 대한 신념과 태도를 변화시킬 수 있는 교육도 동반되어야 한다. 이와 같은 교육의 필요성에도 불구하고 본 연구에서 COVID-19 상황으로 인해 프로

토콜 개발 후 근거기반 간호 실무와 ECMO 간호 프로토콜에 대한 교육을 시행하지 못한 점도 근거기반 실무 실행도가 통계적으로 유의하게 높아지지 않은 결과에 영향을 주었을 것으로 생각한다. 이에, 간호사를 대상으로 표준화된 실무지침, 질환과 관련된 교육을 제공하는 경우에 일반적인 근거기반 실무에 대한 교육을 포함하고, 다양한 근거기반 지침의 개발 및 적용을 통해 근거기반 실무에 대한 경험을 높일 필요가 있다[41].

본 연구에서 ECMO 간호 프로토콜의 적용으로 ECMO 간호에 대한 만족도는 향상되었다. 이는 Choi와 Yi [42]의 지속적 신대체요법 적용 시 알람 대처 프로토콜 개발 및 적용 효과 연구 결과와 유사하였다. 이에, 간호 프로토콜의 적용은 간호사들의 해당 간호업무에 대한 만족도를 높이는 것으로 볼 수 있겠다. 본 연구에서 ECMO 간호 프로토콜 적용에 대한 간호사들의 의견을 확인한 결과, ECMO에 대한 임상 경험이 부족한 간호사도 ECMO 간호 프로토콜을 사용함으로써 당황하지 않고 쉽고 정확하게 접근할 수 있었으며, 기존에는 진료과마다 항응고제의 사용 방법이 달랐으나 ECMO 간호 프로토콜에서 이 부분을 통일하여 적용하였고, ECMO에 지속적 신대체요법(Continuous renal replacement therapy [CRRT])을 연결해야 하는 경우 프로토콜에 ECMO와 CRRT의 연결 부위가 그림과 설명으로 제시되어 있어 참고할 수 있었으며, ECMO 회로의 떨림이 지속되는 경우 원인에 따라 대처하는 방법이 기재되어 있어 간호사의 신속한 의사결정에 도움을 주었다고 하였다. 이러한 이유로 간호사들의 ECMO 간호 만족도가 높아진 것으로 생각된다.

본 연구에서 ECMO 간호 프로토콜을 적용한 간호사가 그렇지 않은 간호사에 비해 임파워먼트가 향상되었다. 이는 기저 인슐린 투여 프로토콜 적용이 간호사의 임파워먼트를 향상시켰던 Segal 등[43]의 결과와 다제내성균 감염관리 교육프로그램과 지침을 통해 임파워먼트가 향상된 Kim [44]의 결과와 유사하였다. 임파워먼트를 향상시킨다는 것은 주어진 상황 하에 본인이 판단하여 결정을 내리고, 스스로를 통제함으로써 자신의 업무에 대한 자긍심을 갖도록 함이며, 이를 통한 성취감을 바탕으로 어떠한 변화든 두려워하지 않고 신속하게 대응하는 능력을 향상시키는 것을 의미한다[45]. 이러한 임파워먼트는 간호사가 임상에서 확신을 가지고 사용할 수 있는 지식과 기술을 습득함으로써 향상된다[46]. 이에 본 연구에서도 ECMO 간호 프로토콜을 통해 ECMO를 관리할 수 있는 지침을 제공함으로써 간호사의 ECMO에 대한 임상적인 전문지식이 증가하였고, 이에 따라 임파워먼트도 향상된 것으로 생각된다. 따라서 고난이도 간호업무에 대한 간호 프로토콜을 개발하고 적용하는 것이 필요하겠다.

또한, 본 연구에서 ECMO 간호 프로토콜의 적용 후 ECMO 간

호의 항목별 중요도 점수와 수행도 점수가 통계적으로 유의하게 상승하였다. 이는 급성 뇌졸중 간호 가이드라인을 개발하여 적용한 결과 실무편차를 감소시키고 간호 수행도를 향상시켰던 연구 [32]와 신체 억제대 프로토콜을 적용 후 간호 이행도가 상승된 연구 [47]와 유사한 결과였다. 이는 ECMO 간호 프로토콜에 이론적인 설명과 함께 실제적인 간호 수행 절차와 방법을 상세히 기록하였기 때문에 항목별 중요도 점수와 수행도 점수가 동시에 향상된 것으로 볼 수 있다. 한편, 국소/진정마취 수술실 환자안전 프로토콜을 적용하여 수술 안전관리 활동 중요도와 수행도 간의 관계를 분석한 연구 [29]에서 중요도는 3.77점으로 높으나 수행도는 3.38점으로 낮았다. 또한, 뇌졸중 환자 감각이상 간호 프로토콜 적용한 연구에서도 [32] 간호사가 인식하는 프로토콜 각 항목에 대한 중요도는 4.7~5점으로 높았으나 수행도는 4.3~4.8점으로 중요도에 비해 상대적으로 낮았다. 이러한 결과로 볼 때 간호 수행의 필요성이 높음에도 불구하고 실질적으로 임상 현장에서 간호를 수행하는 것이 어렵다는 것을 알 수 있다. Kim 등 [48]은 간호사들이 전문적인 간호 업무가 필요한 상황에서 업무 수행에 대한 부족함이나 어려움을 느낄 때 업무 수행도가 낮다고 하였다. 이에 임상에서 수행되는 간호 업무 중 중요성이 높고, 최신의 지식과 기술을 획득하여 간호사의 전문적 수준을 향상시켜야 하는 업무의 경우, 지속적인 프로토콜의 개발과 보완, 교육을 통해 해당 업무의 중요도에 대한 인식을 높임과 동시에 수행도를 높이도록 하여야 한다.

마지막으로 ECMO 간호 프로토콜을 적용 후 오류발생 건수가 감소되었으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 이는 국소/진정마취 수술실 환자안전프로토콜 적용 후 오류 발생 건수가 감소한 Ryoo [31]의 연구 결과와 유사하였다. ECMO 치료를 시작하는 환자들은 혈역학적으로 매우 불안정한 상태에 있어 무엇보다 ECMO 치료를 빨리 적용해야 하기 때문에 필수적인 간호 업무들이 누락되거나 잘못 수행되는 의료 오류로 이어지게 된다 [46]. 국내 대학병원 의료인들의 근접오류를 조사한 Park 등 [49]은 오류의 19%가 중환자실에서 발생되었다고 보고하였고, Drews 등 [50]도 오류 발생이 가장 빈번한 곳이 중환자실이라고 하였다. 이처럼 중환자를 간호한다는 것은 의료오류에 대한 위험 부담이 크기 때문에, 이를 줄이기 위해 중환자를 돌보는 간호사에게는 고도의 지식과 기술, 첨단 의료 장비를 적절히 활용할 수 있는 실무 능력이 요구된다 [49]. 중환자에게 적용되는 ECMO 치료 시 요구되는 긴박함과 신속함 때문에 필수 간호 행위가 뒤로 미루어지거나, 가려져 누락되는 경우가 발생하는데 이는 의료 오류로 연결된다. 본 연구에서 ECMO 환자 간호 시 발생한 오류로는 ECMO 이동시 산소라인을 연결하지 않았거나, 연결되어 있던

산소라인이 분리되었어도 이를 인지하지 못하는 ECMO 작동 미숙이 많았고, 동맥혈가스분석(arterial blood gas analysis) 등의 검사 누락이 있었다. ECMO 적용 시 필수적인 폐파린 용량 투여 오류도 있었으며, 수혈 경로 오류(응급 상황으로 ECMO로 시행하지는 수혈을 환자의 정맥으로 수혈)도 있었다. 그러나, 간호 프로토콜의 적용으로 투약 오류, 수혈 및 검사 오류 등을 줄일 수 있었으므로 표준화된 간호 프로토콜의 적용을 확대하여야 하겠다.

본 연구에서 ECMO 간호 프로토콜을 개발하고 이를 간호사들에게 배포함으로써 임파워먼트, ECMO 간호 프로토콜의 적용 만족도·중요도·수행도가 통계적으로 유의하게 향상되었다. 이는 개발된 프로토콜에 대한 교육을 시행하지 못하였음에도 18개월 이상 된 간호사들을 대상으로 하여 간호사들 스스로 배포된 프로토콜을 적용할 수 있었던 점이 영향을 주었을 것으로 생각된다. 표준화된 프로토콜 배포만으로 중재 효과가 있었으므로, 3교대나 팬데믹 등으로 집합 교육이 어려운 경우 2년차 이상의 간호사들에게 의미 있는 중재 방법으로 고려될 수도 있을 것으로 보인다. 이에, 간호사 대상으로 보다 효율적인 중재 방법을 알아보기 위해 표준화된 프로토콜 개발 후 교육을 제공한 군과 프로토콜을 배포한 군에서의 중재 효과를 비교해 보는 연구를 제언한다.

마지막으로 본 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서 개발된 ECMO 프로토콜은 일개 병원에서 개발되었으므로, 병원 환경에 따라 다른 의료기관에서 적용하는데 일부 제한이 있을 것으로 생각된다. 두 번째, ECMO 프로토콜에 대한 환자 대상 효과 평가는 후향적으로 적은 수의 대상자에게 시행하였으므로, 보다 많은 환자를 대상으로 전향적 연구를 통한 효과 평가 연구가 필요하다. 세 번째, 간호사 대상 효과 평가 또한 일개 병원의 중환자실에서 ECMO 치료를 담당한 간호사에게 국한하여 시행되었으므로, ECMO 간호 프로토콜의 효과를 일반화하기엔 제한이 있다. 이에, 더 큰 규모로 ECMO 간호를 제공하는 간호사를 대상으로 하여 ECMO 간호 프로토콜을 이용한 교육 프로그램 개발 및 교육 효과에 대한 연구가 필요하다.

결 론

본 연구에서 수용개작 ECMO 간호 프로토콜을 개발하여 이를 적용한 결과 환자에서 ECMO로 인한 감염과 욕창 발생률이 적용하지 않은 환자에 비해 낮았으며, ECMO 간호 프로토콜을 적용한 간호사의 ECMO 간호 만족도, 임파워먼트, ECMO 간호 중요도와 수행도 또한 적용하지 않은 간호사에 비해 통계적으로 유의하게 높았다. 표준화된 ECMO 간호 적용이 실무 격차를 좁

힘으로써 간호의 질을 향상시켜 환자의 임상 결과 증진에 기여하고, 간호사의 실무 실행도와 만족도를 높였으므로, 중환자실의 ECMO 적용 환자의 간호의 질 향상을 위해 ECMO 간호 프로토콜의 적용을 제언한다.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declared that no conflict of interest.

ACKNOWLEDGEMENTS

None.

DATA SHARING STATEMENT

Please contact the corresponding author for data availability.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization or/and Methodology: Kim S & Kim CG.

Data curation or/and Analysis: Kim S & Kim CG.

Funding acquisition: None.

Investigation: Kim S & Kim CG.

Project administration or/and Supervision: Kim S & Kim CG.

Resources or/and Software: Kim S & Kim CG.

Validation: Kim S & Kim CG.

Visualization: Kim S & Kim CG.

Writing original draft or/and Review & editing: Kim S & Kim CG.

SUPPLEMENTARY DATA

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.4040/jkan.22109>.

REFERENCES

1. Bear DE, Smith E, Barrett NA. Nutrition support in adult patients receiving extracorporeal membrane oxygenation. *Nutrition in Clinical Practice*. 2018;33(6):738-746. <https://doi.org/10.1002/ncp.10211>
2. Badulak JH, Shinar Z. Extracorporeal membrane oxygenation in the emergency department. *Emergency Medicine Clinics of North America*. 2020;38(4):945-959. <https://doi.org/10.1016/j.emc.2020.06.015>
3. Extracorporeal Life Support Organization (ELSO). Registry dashboard of ECMO supported COVID-19 patient data [Internet]. Ann Arbor (MI): ELSO; [cited 2022 Feb 28]. Available from: <https://www.elseo.org/>
4. The Korean Society for Thoracic & Cardiovascular Surgery (KSTCS). Korean Society of Cardiovascular and Thoracic Surgery recommendation for ECMO treatment in severe COVID-19 infected patients [Internet]. Seoul: KSTCS; 2020 [cited 2021 Dec 20]. Available from: <http://www.covid19ecmo.org/>
5. Extracorporeal Life Support Organization (ELSO). General guidelines for all ECLS Cases [Internet]. Ann Arbor (MI): ELSO; 2017 [cited 2020 Oct 28]. Available from: https://www.elseo.org/portals/0/elseo%20guidelines%20general%20all%20ecls%20version%201_4.pdf
6. Hackmann AE, Wiggins LM, Grimes GP, Fogel RM, Schenkel FA, Barr ML, et al. The utility of nurse-managed extracorporeal life support in an adult cardiac intensive care unit. *Annals of Thoracic Surgery*. 2017;104(2):510-514. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2016.11.005>
7. Pokorny ME, Koldjeski D, Swanson M. Skin care intervention for patients having cardiac surgery. *American Journal of Critical Care*. 2003;12(6):535-544. <https://doi.org/10.4037/ajcc2003.12.6.535>
8. Tam SF, Mobargha A, Tobias J, Schad CA, Okochi S, Mid-dlesworth W, et al. Pressure ulcers in paediatric patients on extracorporeal membrane oxygenation. *International Wound Journal*. 2019;16(2):420-423. <https://doi.org/10.1111/iwj.13049>
9. Samsung Medical Center (SMC). SMC ECMO manual. Seoul: SMC; 2014. p. 1-77.
10. Kim GW, Choi EY, Hong SB. The treatment of adult respiratory distress syndrome (ARDS) using extracorporeal membrane oxygenation (ECMO). *Tuberculosis and Respiratory Diseases*. 2012;72(1):1-7. <https://doi.org/10.4046/trd.2012.72.1.1>
11. Cherian S. Trends in extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) nursing. Paper presented at: DHA Nursing Leadership Conference; 2015 May 4; Dubai, UAE.
12. University of Wisconsin Hospital. Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO): Initiation and management adult inpatient clinical practice guideline. Madison (WI): University of Wisconsin Hospital; 2018. p. 1-53.
13. Auckland City Hospital. CVICU adult ECMO manual [Internet]. Auckland: Auckland City Hospital; 2019 [cited 2019 Oct 14]. Available from: <https://www.cvicu.co.nz/assets/Uploads/>

- MP1135-CVICU-ECMO-MANUAL-2019-12.03.19eFinal.pdf
14. Nekic P. Extra Corporeal Oxygenation (ECMO) learning package [Internet]. Liverpool: Liverpool Hospital; 2016 [cited 2019 Oct 16]. Available from: <https://www.coursehero.com/file/34320827/ECMO-Learning-packagepdf/>
 15. Shin NM, Ha SY, Cho YS. Comparison of the nutritional indicators of critically ill patients on extracorporeal membrane oxygen (ECMO). *Journal of Nutrition and Health*. 2021;54(5):489-500.
<https://doi.org/10.4163/jnh.2021.54.5.489>
 16. Pitts B, Vaughan M, Roney J. Using an existing clinical practice guideline to develop and implement an adult ECMO program during a global pandemic [Internet]. Lubbock (TX): Texas Tech University; 2022 [cited 2023 Jan 3]. Available from: <https://digitalcommons.pshealth.org/publications/5926/>
 17. Leffall B, Myers L, Holcomb JB, Drake SA. Nursing care for extracorporeal membrane oxygenation in the trauma patient. *Critical Care Nursing Quarterly*. 2021;44(2):140-146.
<https://doi.org/10.1097/CNQ.0000000000000348>
 18. Peig NNA, Djen E, Garalza M, Given C, Henderson J, O'Connor T, et al. Nursing management of a patient with COVID-19 receiving ECMO: A case report. *Critical Care Nurse*. 2021;41(6):12-21.
<https://doi.org/10.4037/ccn2021929>
 19. Kim SY, Choi MY, Sheen SS, Ji SM, Park SH, You JH, et al. Handbook for clinical practice guideline developer ver 1.0. Seoul: National Evidence-based Healthcare Collaborating Agency; 2015. p. 112-162. https://www.neca.re.kr/lay1/bbs/S1T11C102/F/39/view.do?article_seq=5347&cpage=1&rows=10&condition=A.TITLE&keyword=%EC%9E%84%EC%83%81%EC%A7%84%EB%A3%8C%EC%A7%80%EC%B9%A8&show=&cat=
 20. Jung JS. Extracorporeal membrane oxygenation: Past, present and future. *Korean Journal of Medicine*. 2015;88(6):651-657. <https://doi.org/10.3904/kjm.2015.88.6.651>
 21. Jeong IS, Jeong JS, Seo HJ, Lim EY, Hong EY, Park KH, et al. Development of indwelling urinary catheterization guideline by adaptation process. *Journal of Korean Clinical Nursing Research*. 2015;21(1):31-42.
<https://doi.org/10.22650/JKCN.2015.21.1.31>
 22. Park KH, Choi HJ. Adaptation and evaluation of the incontinence care protocol. *Journal of Korean Academy of Nursing*. 2015;45(3):357-366.
<https://doi.org/10.4040/jkan.2015.45.3.357>
 23. Hong IH, Eun Y. Development and effectiveness of practice application program of intravenous infusion evidence-based nursing practice guideline - for small and medium sized hospitals. *Journal of Korean Academy of Nursing*. 2020;50(6):863-875. <https://doi.org/10.4040/jkan.20196>
 24. Balakrishnan N. Methods and applications of statistics in clinical trials. Volume 1, Concepts, principles, trials, and designs. Hoboken (NJ): Wiley; 2014. p. 961.
 25. Ghezalje TN, Nasari M, Haghani H, Rezaei Loieh H. The effect of nature sounds on physiological indicators among patients in the cardiac care unit. *Complementary Therapies in Clinical Practice*. 2017;29:147-152.
<https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2017.09.010>
 26. Doran DM. Nursing outcomes: The state of the science. 2nd ed. Sudbury (MA): Jones & Bartlett Learning; 2011. p. 241-250.
 27. Melnyk BM, Fineout-Overholt E, Mays MZ. The evidence-based practice beliefs and implementation scales: Psychometric properties of two new instruments. *Worldviews on Evidence-Based Nursing*. 2008;5(4):208-216.
<https://doi.org/10.1111/j.1741-6787.2008.00126.x>
 28. Park HY, Jang KS. Structural model of evidence-based practice implementation among clinical nurses. *Journal of Korean Academy of Nursing*. 2016;46(5):697-709.
<https://doi.org/10.4040/jkan.2016.46.5.697>
 29. Ko MR. Development and application of standardized nursing protocol for spinal surgery patient [master's thesis]. Daejeon: Eulji University; 2018. p. 1-68.
 30. Spreitzer GM. Psychological empowerment in the workplace: Dimensions, measurement, and validation. *Academy of Management Journal*. 1995;38(5):1442-1465.
 31. Ryoo EH. Operating room of local anesthesia/sedation patient safety standards management guidelines development and evaluation [master's thesis]. Pocheon: CHA University; 2016. p. 1-98.
 32. Lee Y, Lee J. Nursing algorithm for stroke patients with sensory disorder. *Korean Journal of Adult Nursing*. 2018;30(3):301-313.
<https://doi.org/10.7475/kjan.2018.30.3.301>
 33. Hartford Hospital. Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) guideline. Hartford (CT): Hartford Hospital; 2009. p. 1-16.
 34. Strickland R, Frantz P. Royal Adelaide Hospital ICU ECMO guidelines. Adelaide: Royal Adelaide Hospital; 2015. p. 1-52.
 35. Chung M, Shiloh AL, Carlese A. Monitoring of the adult patient on venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. *Scientific World Journal*. 2014;2014:393258.
<https://doi.org/10.1155/2014/393258>
 36. American Association of Critical Care Nurses (AACN). AACN scope and standards for acute and critical care nursing practice. Aliso Viejo (CA): AACN; 2008. p. 1-3.
 37. Murphy DA, Hockings LE, Andrews RK, Aubron C, Gardiner EE, Pellegrino VA, et al. Extracorporeal membrane oxygenation-hemostatic complications. *Transfusion Medicine*

- Reviews. 2015;29(2):90-101.
<https://doi.org/10.1016/j.tnmrv.2014.12.001>
38. Aissaoui N, Luyt CE, Leprince P, Trouillet JL, Léger P, Pavie A, et al. Predictors of successful extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) weaning after assistance for refractory cardiogenic shock. *Intensive Care Medicine*. 2011;37(11):1738-1745.
<https://doi.org/10.1007/s00134-011-2358-2>
 39. Kim SW, Chang JW, Lee SJ. Clinical results of extra-corporeal membrane oxygenation for critically ill patients at Jeju National University Hospital. *Journal of Medicine and Life Science*. 2013;10(1):71-75.
 40. Abrams D, Agerstrand C, Fried J, Brodie D. Extracorporeal life support in adults in the intensive care unit: Overview [Internet]. Up To Date; 2021 [cited 2021 Nov 18]. Available from: <https://www.uptodate.com/contents/extracorporeal-membrane-oxygenation-ecmo-in-adults/print>
 41. Ryu YS, Park JS. Development and effect of evidence-based nursing practice guidelines for pain management in patients with dementia. *Korean Journal of Adult Nursing*. 2019;31(2):176-189.
<https://doi.org/10.7475/kjan.2019.31.2.176>
 42. Choi AJ, Yi YH. Effects of the schematized alarm-managing manual for continuous renal replacement therapy on the alarm resolution rate and nursing competence of nurses in intensive care units. *Journal of Korean Academy of Nursing Administration*. 2014;20(5):535-544.
<https://doi.org/10.1111/jkana.2014.20.5.535>
 43. Segal G, Karniel E, Mahagna A, Kaa'dan F, Levi Z, Balik C. A nurse-guided, basal-prandial insulin treatment protocol for achieving glycaemic control of hospitalized, non-critically ill diabetes patients, is non-inferior to physician-guided therapy: A pivotal, nurse-empowerment study. *International Journal of Nursing Practice*. 2015;21(6):790-796.
<https://doi.org/10.1111/ijn.12292>
 44. Kim MS. Factors influencing performance confidence of multi-drug resistant organisms(MDRO)s infection control among registered nurse in intensive care unit [master's thesis]. Gimhae: Inje University; 2020. p. 1-74.
 45. Lee SJ, Yang NY. Awareness and performance of health-care-associated infections control and psychological empowerment of intensive care unit nurses. *Journal of Korean Academic Society of Home Health Care Nursing*. 2017;24(3):306-315.
<https://doi.org/10.22705/jkashcn.2017.24.3.306>
 46. Min AR, Kim IS. Relationship of perception of clinical ladder system with professional self-concept and empowerment based on nurses' clinical career stage. *Journal of Korean Academy of Nursing Administration*. 2013;19(2):254-264.
<https://doi.org/10.1111/jkana.2013.19.2.254>
 47. Kim HS. Evaluation of nursing knowledge implementation level and nursing quality on the physical restraints protocol. *Journal of Korean Nursing Research*. 2019;3(2):37-46.
<https://doi.org/10.34089/jknr.2019.3.2.37>
 48. Kim KS, Kim JA, Park YR. Educational needs based on analysis of importance, frequency and difficulty of ICU nursing practice for ICU nurses. *Journal of Korean Academy of Fundamentals of Nursing*. 2011;18(3):373-382.
 49. Park MH, Kim HJ, Lee BW, Bae SH, Lee JY. Near misses experienced at a university hospital in Korea. *Quality Improvement in Health Care*. 2016;22(1):41-57.
<https://doi.org/10.14371/QIH.2016.22.1.41>
 50. Drews FA, Markewitz BA, Stoddard GJ, Samore MH. Interruptions and delivery of care in the intensive care unit. *Human Factors*. 2019;61(4):564-576.
<https://doi.org/10.1177/0018720819838090>