

전신마취 하 척추 수술 환자의 저체온증 예방을 위한 강제공기가온요법의 효과: 체계적 고찰 및 메타분석

김정수 · 박은아[†]
국립부경대학교(교수)

Effectiveness of Forced Air Warming Intervention to Prevent Hypothermia in Spinal Surgery Patients under General Anesthesia: Systematic Review and Meta-Analysis

Jeong-Soo KIM · Euna PARK[†]
Pukyong National University(professor)

Abstract

The purpose of this study was to systematically review the results of randomized control studies (RCTs) applying forced air warming (FAW) intervention to prevent hypothermia in spinal surgery patients under general anesthesia, and to confirm the optimal application method of FAW intervention to prevent hypothermia postoperatively through meta-analysis. The systematic review handbook of the Cochrane Alliance and the systematic review reporting guidelines presented by the PRISMA Group were followed. For literature selection, electronic database searches were conducted using PICO-SD. Seven studies using FAW intervention were systematically reviewed after reviewing related papers conducted from 1990 to 2023 in the database. RevMan 5.4 and CMA 4.1 were used for analysis. FAW intervention effectively prevented postoperative hypothermia in spinal surgery patients under general anesthesia, and the effect size was found to be a medium. This study confirmed that FAW intervention for spinal surgery patients under general anesthesia has a significant effect on the prevention of hypothermia, and these findings can contribute to creating standards and guidelines that can be effectively applied in the clinical field to prevent hypothermia in spinal surgery patients under general anesthesia.

Key words : Spine, Surgery, Hypothermia, Meta-Analysis

I. 서론

국민건강보험공단의 ‘2022년 주요 수술 통계 연보’에 따르면, 척추 수술은 우리나라에서 시행된 다빈도 수술 중 백내장 수술에 이어 2위를 차지하고 있고, 인구 비율로 보면 인구 10만 명 당 2019년에 348명이었다가 2022년 385명으로 연 평

균 3.5%씩 증가하고 있다(National Health Insurance Service, 2024.).

척추 수술의 대부분을 차지하는 요추 수술은 전신마취 또는 척추마취로 시행되는데 척추마취를 통한 수술은 수술 중 출혈의 위험이 적고, 수술시간이나 회복시간 단축 등의 장점이 있지만 (Dagistan et al., 2015; Morris et al., 2019), 경막외

[†] Corresponding author : 051-629-5785, soundness@pknu.ac.kr/orcid.org/0000-0003-0987-8349

* ‘이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2023년)에 의하여 연구되었음’

혈중이나 신경학적인 손상, 마미 증후군이 발생할 수 있고, 응급 상황 시 복위자세는 기도를 확보하는데 어려움이 있을 수 있으므로 (Zorrilla-Vaca et al., 2017) 전신마취를 선택하는 경우가 많다. 그러나 전신마취는 척추마취에 비해 수술 후 진통제의 요구량이 많고(Meng et al., 2017), 오심이나 구토의 발생률이 높으며 (Finsterwald et al., 2018), 전신마취 시 사용하는 대부분의 마취제는 체온조절 반응을 억제하여 수술 중 저체온을 유발할 수 있다(Ackermann et al., 2018)는 점에서 전신마취 시 체온 유지에 대한 관심이 필요하다.

저체온은 심부 체온이 36°C 미만으로 내려가는 것을 의미하는 것으로(Duff, et al. 2018), 수술 환자의 20~70%에서 수술과 관련된 저체온이 발생한다(Ruetzler and Kurz, 2018). 이러한 저체온증은 수술 유형, 마취 유형, 마취제, 수술실 온도, 세척액, 정맥수액 등 다양한 요인에 의해 영향을 받을 수 있다(Lynch et al., 2010). 실제로 가온요법 없이 전신마취 하 복부 수술을 하는 환자에 대한 연구(Prado et al., 2015)에서 대상자의 27.6%가 마취 유도 시 저체온증이 발생하였고, 85.7%가 마취 유도 1시간 후에 저체온증이 발생하였으며, 88.6%는 마취가 끝날 때 저체온증이 발생하는 것으로 보고되었다. 이는 전신마취 후 혈관이 확장되어 열손실이 일어나는 것과 관련이 있는 것으로 보인다(McSwain et al., 2015).

헨리의 법칙에 따르면, 저체온증은 휘발성 가스의 용해도를 증가시키기 때문에 마취가스가 평소보다 더 오랫동안 혈류에 머무르게 되면서 마취에서 회복되는 시간을 지연시켜 회복실 체류 시간이 길어질 수 있다(Collins et al., 2019). 또한 수술과 관련된 저체온증으로 인해 아드레날린성 반응 자극, 말초혈관 수축 증가로 인한 고혈압, 심근 허혈(Madrid et al., 2016), 수술 상처 치유 지연(Becerra et al., 2019), 수술부위 감염(Zheng et al., 2020), 패혈증 발병률 증가로 인한 세포손상 등이 발생할 수 있다(Akers et al., 2019). 이러한

모든 합병증은 결국 환자의 회복 시간을 지연시켜 입원 기간이 연장되고(Ruetzler and Kurz, 2018), 의료기관에 대한 만족도가 저하되며 (Giuliano and Hendricks, 2017), 의료비 증가 등의 문제가 발생하게 되므로(Ralph et al., 2019) 수술과 관련된 저체온증 예방에 관심을 가질 필요가 있다.

수술 중 저체온증 예방을 위해 시행되는 가온요법은 사용 전략에 따라 소극적 가온과 적극적 가온으로 구분한다(Choi et al., 2017). 소극적 가온은 복사열의 손실을 예방하여 체내의 열을 보유하는 증재로, 면 담요를 덮거나(Yoo et al., 2021a) 양말로 신체 노출을 최소화하는 방법이 주로 사용된다(Lee et al., 2018). 적극적 가온은 열 생산을 증가시키거나 외부의 열을 이동시켜 체내 열을 증가시키는 증재로, 열전달 방식에 따라 전도, 복사, 대류 방식으로 나뉜다. 전도 방식에는 저항 가열 담요, 물순환 가온 및 물순환 매트리스가 있고, 복사 방식에는 복사온열장치가 있으며, 대류 방식에는 강제공기가온요법이 포함된다(Bindu et al., 2017).

가온요법 적용 방식과 관련하여 미국 마취 간호사회에서는 수술 중 체온 모니터링을 실시할 것을 권장하고 있으며, 영국 국립 보건 임상연구소에서 제시한 저체온 예방관리 지침에서는 30분 이상 마취를 하는 경우에는 저체온증을 예방하기 위하여 강제공기가온요법을 권장하고 있다(NICE, 2016). 강제공기가온요법은 기계적으로 생산된 따뜻한 공기를 피부 접촉을 통해 환자에게 전달하는 방법으로 다른 가온요법과 비교하였을 때 체온유지에 효과적인 것으로 나타났다(Madrid et al., 2016, Yoo et al., 2021).

척추 수술 환자에게 강제공기가온요법을 적용한 선행연구를 살펴본 결과, 강제가온요법의 적용온도는 38°C(Andrzejowski et al., 2008, Buraimoh et al., 2018), 38~40°C(Hassani et al., 2018), 38~42°C(Murat et al., 1994), 38~44°C(Brodshaug et al., 2019), 42°C(Shariffuddin et al., 2016)로 다양하였

고, 적용 부위는 상지와 하지(Andrzejowski et al., 2008, Brodshaug et al., 2019), 상지(Buraimoh et al., 2018, Yoo et al., 2022), 하지(Murat et al., 1994), 신체하부(Shariffuddin et al., 2016) 등 적용 부위가 일관적이지 않았다.

본 연구의 목적은 전신마취 하 척추 수술 환자의 저체온증 예방을 위한 중재 중 강제가온요법 연구를 체계적으로 검토하여 선별된 연구의 일반적 특성을 확인하고, 메타분석을 시행하여 강제가온요법의 저체온증에 대한 전체 효과크기와 하위분석을 수행하는데 있다.

II. 연구 방법

1. 연구 설계

본 연구는 국내외 전신마취 하 척추 수술 환자에게 시행된 강제공기가온요법의 효과를 검증하기 위한 체계적 문헌고찰 및 메타분석연구이다.

2. 자료 검색

본 연구는 코크란 연합의 중재법에 대한 체계적인 문헌고찰 핸드북(Higgins and Green, 2011)과 PRISMA (Preferential Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) 그룹이 제시한 체계적인 문헌고찰 보고지침(Moher, Liberati, Tetzlaff, and Altman, 2010)에 따라 수행하였다.

문헌 선정을 위하여 전신마취 하 척추 수술 환자를 위한 강제공기가온요법에 대한 고찰 질문인 PICO-SD (population, intervention, comparison, outcome, study design)를 선정한 뒤 선택, 배제기준에 따라 국내외 전자데이터베이스 검색을 시행하였다. 체계적인 문헌고찰에서 고려되는 핵심 질문은 “전신마취 하 척추 수술 환자의 저체온증 예방을 위한 강제공기가온요법은 기존의 요법보다 더 효과적인가?”이다. 연구대상자(P)는 만 14세 이상 전신 마취하에 척추 수술을 받은 사람들

대상으로 정의하였다. 중재(I)는 수술 전 또는 수술 이후 강제 공기 가온요법을 시행한 것이었다. 비교중재(C)는 척추 수술 환자에게 가온 요법을 시행하지 않거나 일상적인 가온 요법을 시행한 것으로 정의하였다. 결과(O)에서는 강제공기가온요법의 주된 결과를 수술 종료 시 심부 체온으로 정의하였다. 연구 설계(SD)는 모두 전향적 무작위 통제 시험(RCT)을 선택하였다. 자료분석을 위한 배제기준은 다음과 같다: (1) 동물 대상, 신경축 마취, 수술 유형(척추 부위 이외의 수술) 및 1시간 이내 수술; (2) 세척액 가온, 정맥 수액 가온, 다중 개입, 수술 후 가온, 전기 패드, 타월 랩핑, 탄소 섬유 가온, 전신 커버, 히터, 랩핑, 수술실 주변 온도 등; 및 (3) 전문이 없는 초록, 비 RCT, 체계적 검토 및 메타 분석, 지침, 검토, 편지, 초록, 학위논문, 사설 논평 또는 불충분한 데이터를 보고하는 연구.

3. 연구 선택

연구자들은 1990년부터 2023년 12월까지 수행된 연구를 검색하기 위하여 핵심질문을 바탕으로 각 데이터베이스별 키워드를 선정하고 의학주제표목(MeSH)과 생명과학분야용어색인(EMTREE)을 이용한 검색 전략을 수립하였다. 국내 데이터베이스는 한국교육학술정보원의 학술연구정보서비스(RISS), 한국학술정보(KISS)와 DBpia (DataBase Periodical Information Academic)를 이용하였다. 국내 데이터베이스는 통제어휘(controlled vocabulary) 검색기능이 없어 자연어(free text term)로 하여 검색식을 구성하였다. 검색어에는 저체온증, 가온 및 체온이 포함되었다. 국외 검색은 PubMed, CINAHL (Cumulative Index for Nursing Allied Health Literature, EBSCO 플랫폼), Embase (Elsevier 플랫폼) 및 Cochrane Central Register of Randomized Controlled Trials (Wiley 플랫폼)를 검색에 이용하였다. 검색을 위해 사용된 주요 핵심어는 다음과 같다: 'spinal surgery hypothermia

warming' OR (spinal AND ('surgery'/exp OR surgery) AND ('hypothermia'/exp OR hypothermia) AND ('warming'/exp OR warming). 논문에 사용된 언어는 영어와 한국어로 제한하였다.

4. 자료 선별 및 추출

자료수집과 선별의 전 과정은 2명의 연구자가 분석에 포함된 모든 연구를 독립적으로 검토하였다. 연구자 간에 의견의 불일치가 있는 경우에는 합의점을 찾을 때까지 자료 선정 또는 제외기준에 따라 해당연구를 함께 검토하였다. 중복된 문헌들을 제거한 후 제목과 초록을 검토하여 문헌 선정기준에 부합된 연구인지를 확인하였다. 제목이나 초록만으로 선정기준에 부합된 연구를 판단하기 어려운 경우에는 본문을 참조하여 해당문헌을 선정할 것인지를 결정하였다. 최종 선정된 논문에서 저자, 출판연도, 출판국가, 연구대상자 수, 중재방법(기기, 부위, 기간), 결과변수(체온측정시점, 심부체온에 대한 결과)를 추출하였다.

자료 선정 기준에 따라 체계적 고찰에 포함된 연구는 총 7편으로 자료 선정 과정은 다음과 같다. 4개의 전자 데이터베이스에서 검색한 결과, 291개의 기사(PubMed에서 68개, EMBASE에서 153개, Cochrane Library에서 64개, CINAHL에서 6개)가 검색되었다. 194개의 중복 연구를 제거한 후 97개의 연구를 선별하여 제목과 초록이 포함 기준을 충족하는지 확인했다. 결과적으로 16개 연구의 전체 텍스트를 적격성 평가하고 최종 7개 연구를 체계적 검토 및 메타 분석을 위해 선택했다. 제외된 9건의 연구에는 5건의 비척추 수술 연구, 1건의 수술 후 중재, 2건의 강제 공기 가온에 대한 기타 통합적 중재, 1건의 중복 발표 연구가 포함되었다([Fig. 1]).

5. 품질 평가

최종 선정된 논문의 질 평가는 Cochrane library의 Risk-of-Bias (RoB)를 사용하여 연구자 2인이

독립적으로 실시하였고 일치되지 않는 항목은 합의점을 찾을 때까지 해당 연구를 함께 검토하여 결론을 도출하였다. ROB의 경우 무작위 대조군 실험연구에 대한 질 평가 방법으로, 무작위 배정 순서 생성(random sequence generation), 배정순서 은폐(allocation concealment), 연구 참여자와 연구자에 대한 눈가림(blinding of participants and personnel), 결과 평가에 대한 눈가림(blinding of outcome assessment), 불충분한 결과 자료(incomplete outcome data), 선택적 보고(selective reporting), 기타 잠재적 비뚤림(others) 등 총 7가지 항목으로 구성되어 있으며, 각 항목에 기술된 내용에 따라 비뚤림의 위험이 낮음(low risk), 높음(high risk), 불확실(unclear)로 평가하였다.

먼저 무작위 배정 순서 생성에 대해 충분한 설명이 기재되어 비뚤림 위험이 낮은 연구는 6편(85.7%)이었고, 1편(14.3%)은 무작위배정임을 기재하였지만 그에 대한 정확한 방법을 언급하지 않았다. 배정순서를 은폐한 논문은 6편(85.7%)이었고, 1편(14.3%)에서는 배정순서와 은폐에 대한 정확한 내용이 기술되지 않아 은폐의 적절성을 판단할 수 없었다. 참여자와 연구자의 눈가림 여부를 명확히 기재한 논문은 5편(57.1%)이었고, 2편(42.9%)은 눈가림 여부가 불확실하였다. 결과평가에 대한 눈가림 여부를 명확히 기술한 논문은 7편(100%)이었다. 불충분한 결과자료에 대해서는 7편(100%)이 중간 탈락자가 없거나 탈락률이 추후 결과에 큰 영향을 끼치지 않아 비뚤림 위험이 낮다고 평가되었다. 선택적 보고에서는 7편(100%)이 사전 프로토콜에 맞춰 결과를 제시하였으므로 비뚤림 위험이 낮다고 평가하였고, 기타 잠재적 비뚤림에서는 모두 비뚤림 위험이 낮다고 평가하였다.

6. 자료 분석

최종 선정된 7편의 문헌에 대해 연구자 2인이 독립적으로 근거표를 작성하여 그 결과를 서로

교차 확인하는 과정을 수행하였다. 근거표에는 대상자의 수와 연구 대상 선정기준, 마취방법, 중재내용과 결과 변수를 추출하여 코딩하였고 불일치되는 경우 원문의 재검토를 시행하였다.

최종 검토 후 분석을 실시하였으며 본 연구에서는 주요 결과인 체온 측정 시점, 심부체온에 대한 결과를 추출하여 Cochrane Rview Manager software Version 5.4 (RevMan 5.4)과 Comprehensive Meta Analysis (CMA 4.1)을 이용하여 분석을 시행하였다. 중재 후 연구에 여러 측정 지점이 있는 경우 효과 크기는 주로 수술 종료 값으로 계산되었다. 효과추정치에 통계적인 의미는 전체효과검정과 95% 신뢰구간(confidence interval, CI)을 계산하였고, 유의수준 5%를 기준으로 하였다. 실험군과 대조군의 체온은 표준화된 효과크기(standardized mean difference: d)를 산출하여 Cohen의 기준에 따라 효과크기가 .20 이하의 경우 작은 크기, .50의 경우 중간크기, .80 이상의 경우 큰 크기로 해석하였다.

문헌 간 이질성은 숲그림(forest plot)을 통해 신뢰구간 및 효과추정치에 공통적인 부분이 있는지 시각적으로 확인하였고, 정량적 분석을 위해 유의수준 5% 미만으로 하여 Higgins의 I^2 이질성 검정을 시행하였다. I^2 의 판단기준은 I^2 가 25.0% 이하이면 이질성이 낮은 것으로, 25.0% 초과 75.0% 이하는 중간 정도의 이질성이 있는 것으로, 75.0% 이상은 이질성이 높다고 판단하였다(Higgins et al., 2011). 이질성 검정 결과에 따른 전체 효과크기 산출 시 분석문헌들이 동질한 경우에는 고정효과 모형을, 이질한 경우에는 랜덤효과모형을 사용하였다. 분석 상 이질성이 있는 경우에는 원인을 조사하기 위해 자료를 재확인하였으며, 하위분석과 meta-regression을 고려하였다. 그러나 회귀분석에 포함된 문헌 수가 부족하여 강제공기가온요법 중재별로 하위분석 만들 수 없었다.

그러나 출판 편향(publication bias)은 분석하지 않았다. 지침에 따르면 funnel plot 비대칭에 대한

테스트는 메타분석에 적어도 10개의 연구가 포함된 경우에만 사용해야 한다. 적은 수의 연구에서는 테스트의 검정력이 너무 낮아서 관찰된 비대칭의 가능성을 배제할 수 없기 때문이다(Higgins et al., 2011).

III. 연구 결과

1. 연구 특성

체계적 고찰에서 선정된 7개 연구의 특성은 <Table 1>에 요약되어 있다. 2016년 이전에 2개의 연구가, 2016년 이후에 5개의 연구가 발표되었다. 제 1저자의 국가는 영국, 노르웨이, 미국, 이란, 프랑스, 말레이시아, 대한민국이었고, 총 499명의 피험자가 무작위 대조시험에 참여하였으며 연구당 참여자 수는 30명에서 116명 사이였다. 환자의 수술 부위는 모두 전방 혹은 후방에서 접근하는 전신마취 하 요추수술이었다(<Table 1>).

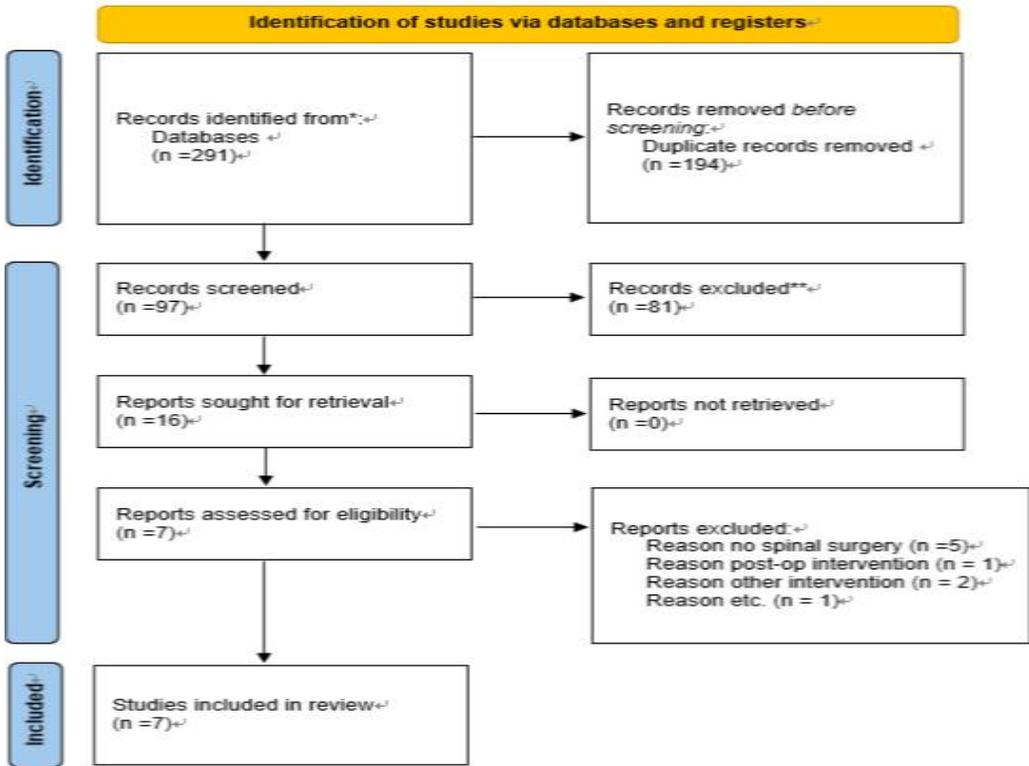
2. 중재 및 결과 측정

강제공기가온에 사용된 장치의 종류는 Bear Hugger를 사용한 연구가 5편, WarmTouch를 사용한 연구가 2편이었다. 강제공기가온의 적용온도는 38-44°C 사이였다. 강제공기가온 적용부위는 상하체 2편, 상체 2편, 하체 1건, 신체전면 1편, 언급이 없는 경우가 1편이었다. 강제공기가온 적용기간은 대부분이 수술 전과 수술 중에 모두 적용하는 경우가 5편이었고, 수술 중 적용이 1편, 언급이 없는 경우가 1편이었다(<Table 1>).

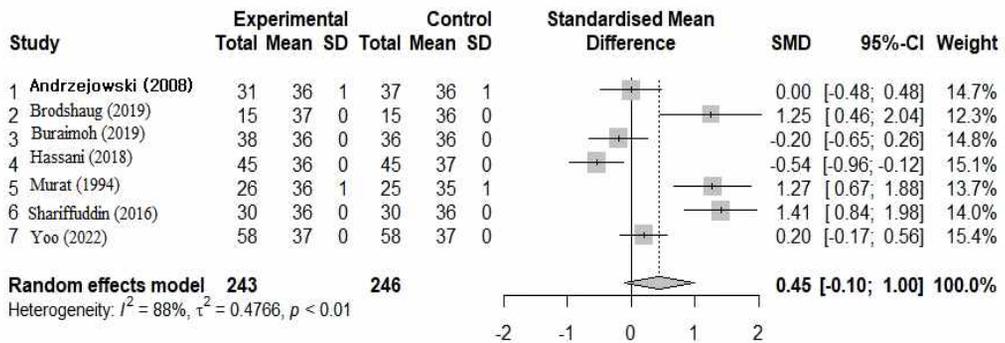
3. 중재 및 하위그룹 분석 효과

메타분석이 가능한 7편을 대상으로 전신마취 하 척추 수술 환자를 위한 적극적 가온요법 중재가 수술 종료 시 체온에 미치는 효과크기를 분석하였다. 체온에 대한 연구의 동질성 검정에서는 이질성이 큰 정도($Q=53.13, p<.01, I^2=88%$)로 확인

되어 변량효과모형(random effects model)을 적용하여 효과크기를 산출하였다. 체온에 대한 전체 효과크기는 0.45(95% confidence interval [CI]:-0.10~1.00)로 중간 효과크기이었고, 통계적으로 유의하지 않았다($Z=1.61, p=.108$)([Fig. 2]).



[Fig. 1] Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses (PRISMA) flow.



$Q=53.13, df=6 (p<.001)$; Test for overall effect: $Z=1.61 (p=.108)$

[Fig. 2] Comparison outcome of forced air warming intervention for spinal surgery.

<Table 1> Descriptive summary of included studies

No.	First author, publication year, country	Patients	Study design	Intervention	Control condition	Temperature measure	Outcome	Time points of measurements	Results about core temperature
1	Andrzejowski et al. (2008) UK	Spinal surgery Exp: (n=31) Cont: (n=37)	RCT	Devices: FAW(Bair Paws, 38°C) Site: .cervical- full body blanket .lumbar-surgical access warming blanket Duration: 60 min before induction and during anesthesia	usual care	peri-op: temporal artery scanner peri-op: esophageal temperature	. primary outcome: mean core temperature	peri-op: 20 min intervals	. 0.3°C smaller decrease in mean core temperature in the prewarmed group . Temperature was maintained above the hypothermic threshold of 36°C in 21 (68%) patients in the prewarmed group end of surgery temperature Exp: 36.4±0.6 Cont: 36.4±0.7
2	Brodshaug et al. (2019) Norway	Spinal surgery Exp: (n=15) Cont: (n=15)	RCT	Device: FAW(BairPaws, 38°C) Site: .under body- Bair Hugger Blanket, 43°C) .upper, lower body- Snuggle Warm Convective Warming Blanket(44°C) Duration: 30 min before induction and during anesthesia	Devices: thermal suit Site: not mentioned Duration: 30 min before induction and during anesthesia	peri-op: esophageal/rectal temperature	. primary outcome: mean core temperature . secondary outcome: peri-op hypothermia, reestablishment of normothermia	peri-op: 10min intervals	. thermal suit did not prevent hypothermia . FAW was significantly more efficient in re-establishing normothermia end of surgery temperature Exp: 36.6±0.49 Cont: 36.1±0.25
3	Buraimoh et al. (2019) United States	Spinal surgery Exp: (n=38) Cont: (n=36)	RCT	Devices: FAW(Bair Hugger, 38°C) Site: upper body (upper back, arms) Duration: 30 min before induction and during anesthesia	Devices: FAW(Bair Hugger/38°C) Site: under the torso, legs Duration: 30 min before induction and during anesthesia	peri-op: sensing Foley catheter	. primary outcome: intra-op body temperature, incidence of hypothermia, post-op complications, infection . secondary outcome: blood loss, operative time, length of stay.	peri-op: 15min intervals	. intra-op Exp: 35.7°C Cont: 35.8°C . No difference in incidence of critical hypothermia

< Over continued >

전신마취 하 척추 수술 환자의 자체온증 예방을 위한 강제공기가온요법의 효과: 체계적 고찰 및 메타분석

<Table 1> Descriptive summary of included studies (Cont.)

4	Hassani et al. (2018) Iran	Spinal surgery Exp: (n=45) Cont: (n=45)	RCT	Devices: FAW(WarmTouch, 38°C) Site: not mentioned Duration: during anesthesia	Devices: FAW(WarmTouch, 40°C) Site: not mentioned Duration: during anesthesia	peri-op: tympanic temperature	primary outcome: core temperature secondary outcome: hemoglobin, hematocrit, platelet counts, mean core temperature, systolic blood pressure (BP), heart rate, respiratory rate	peri-op: 30min intervals	<ul style="list-style-type: none"> mean temperature was not different between the two groups There was no significant difference in warming of the patients during operation at 38 or 40°C to prevent hypothermia intra-op Exp: 36.33±0.57 Cont: 36.45±0.24 end of surgery Exp: 36.45±0.14 Cont: 36.51±0.07
5	Murat et al. (1994) France	Spinal surgery Exp: (n=26) Cont: (n=25)	RCT	Devices: FAW(Bair Hugger, 38-42°C) Site: legs Duration: 30 min before induction and during anesthesia	usual care: 400W heat lamp	peri-op: rectal temperature	primary outcome: core temperature	peri-op: 15min intervals	<ul style="list-style-type: none"> During surgery, the experimental group had significantly higher core temperature than the control group One hour after arriving at the recovery room, the control group was in a hypothermic state intra-op Exp: 35.6± 0.5 Cont: 34.8± 0.6 end of surgery Exp: 36.5± 0.8 Cont: 35.4± 0.9

< Over continued >

<Table 1> Descriptive summary of included studies (Cont.)

6	Shariffuddin et al. (2016) Malaysia	Spinal surgery Exp: (n=30) Cont: (n=30)	RCT	<p>Devices: FAW(Bair Hugger, 42°C)</p> <p>Site: whole ventral surface of the patient's body; face, anterior trunk, both upper limbs and lower limb</p> <p>Duration: not mentioned</p>	<p>Devices: three pieces of Resistive heating blanket(Thermamed SmartCare, 42°C)</p> <p>Site: . one large upper body blanket that covers upper back and both upper limbs . two separate 'lower limbs' blankets that wrap up the lower limbs.</p> <p>Duration: not mentioned</p>	<p>peri-op: nasopharyngeal temperature (core)</p> <p>rectal temperature (core)</p> <p>axilla temperature (skin)</p>	<p>primary outcome: core temperature</p> <p>secondary outcome: BP, HR, O2 sat., end tidal CO2 (mmHg)</p>	<p>peri-op: 20min intervals</p>	<p>. FAW is superior to resistant heating blanket</p> <p>. intra-op Exp: 36.36± 0.38 Cont: 36.27± 0.46</p> <p>. end of surgery Exp: 36.44 Cont: 35.87</p>
7	Yoo et al. (2022) Korea	Post. approach spinal surgery Exp: (n=58) Cont: (n=58)	RCT	<p>Device: FAW(WarmTouch)</p> <p>Site: upper body(back, both arm)</p> <p>Duration: after induction ~ during anesthesia</p>	<p>Device: FAW(WarmTouch)</p> <p>Site: lower body(buttocks, bothe legs)</p> <p>Duration: after induction ~ during anesthesia</p>	<p>peri-op: nasopharyngeal temperature</p>	<p>primary outcome: core temperature</p> <p>secondary outcome: Changes in body temperature, patient satisfaction, and length of stay in the recovery room</p>	<p>peri-op: 15min intervals</p>	<p>. Upper extremity warming is more effective in preventing postoperative hypothermia than lower extremity warming</p> <p>. intra-op Exp: 37.0±0.37 Cont: 36.9±0.34</p> <p>. intra-op hypothermia Exp: n=32(55.2%) Cont: n=44(75.9%)</p> <p>. post-op hypothermia Exp: n=12(21.4%) Cont: n=28(49.1%)</p>

RCT, randomized controlled trial; Exp, experimental group; Con, control group

IV. 결론

본 연구는 1990년 1월부터 2023년 12월까지 실시된 전신마취 하 척추 수술 환자를 위한 강제공기 가온요법의 효과에 대한 무작위대조군실험연구를 체계적으로 고찰하고 메타분석하여 강제공기 가온요법의 효과를 규명한 연구이다.

체계적 고찰을 한 결과 71.4%가 2016년 이후에 실시된 연구로 나타났으며, 85.7%가 국외에서 실시된 연구로 국내 연구는 14.3%에 지나지 않았다. 이는 전신마취 하 척추 수술 환자의 저체온증 예방에 대한 관심이 꾸준히 증가하고 있음을 보여주는 결과이나 국외에서는 2016년 이후 저체온증 예방을 위한 강제공기 가온요법에 대한 연구들이 비교적 활발히 실시되는 것에 반해 우리나라는 여전히 이들을 위한 강제공기 가온요법에 대한 연구가 부족한 것으로 나타났다.

본 연구에 포함된 강제공기 가온요법의 기기 온도, 적용 부위, 적용 시간, 체온 측정 부위, 체온 측정 간격으로 구분하여 살펴보았을 때, 기기 온도는 대부분 38~44℃ 사이였다. Cobbe et al.(2012)은 FAW의 온도를 38℃로 설정한 군과 43℃로 설정한 군을 비교하였을 때 통계적으로 유의미한 차이는 없었지만 수술 환자들이 43℃에서 더 편안함을 느꼈다고 보고하였다. 그러나 FAW의 온도가 높으면 피부에 열 손상이 발생할 수 있고, 환자가 이미 저체온 상태인 경우에는 말초 관류가 저하되어 상태가 더욱 악화될 수 있으며(Bräuer et al., 2010), 특히 환자가 당뇨병이나 갑상선 기능장애, 말초혈관 질환 등을 가지고 있는 경우에는 온도에 대한 민감도가 저하되어 있을 수 있으므로 적용 시 주의를 기울일 필요가 있다(Nieh and Su, 2016).

적용 부위는 상·하체 및 상체에 적용하는 경우가 각각 28.6%, 하체와 신체 전면에 적용하는 경우가 각각 14.3% 이었다. 척추 수술 시 강제공기 가온요법의 적용 부위에 대해서는 일관된 연구결

과가 존재하지는 않지만, 가능한 한 추위에 노출된 신체표면의 가장 넓은 부분을 덮는 담요를 사용하면 열 균형과 효율이 가장 높은 것으로 나타났다(Bräuer et al., 2014).

적용 시간은 언급이 없는 1편을 제외하고 85.7%가 수술 전과 수술 중에 강제공기 가온요법을 실시하는 것으로 나타났다. 이에 대한 근거는 수술 전 15~30분 동안 가온요법을 실시하면 마취 유도 전에 심부체온이 상승하고, 수술 후 저체온증 발생률, 수술 후 수혈의 가능성, 수술 부위 감염 유병률이 감소한다고 보고한 연구(Becerra et al., 2021)를 통해서 확인할 수 있다. 특히 수술 후 저체온증은 전신마취를 하고 수술 시간이 1시간 이상 소요되는 환자에서 더 흔히 발생하므로(Güven et al., 2023) 수술 전·후 과정 전반에 걸쳐 환자의 정상체온을 유지할 의무가 있는 전체 수술팀(Ucak et al., 2024)은 수술 전 강제공기 가온요법의 필요성을 알고 실천해야 하겠다.

체온 측정 부위는 수술 중 심부체온 측정을 위해서 식도, 직장, 방광, 고막, 비인두 등에서 측정하였고, 피부 표면온도를 측정하기 위해서는 액와에서 측정하는 것으로 나타났다. 심부체온은 신체 내에서 관류가 많은 곳에서 측정하는 것이 가장 적합하므로 보통 식도 원위 1/3 지점, 고막, 비인두, 직장, 방광 등에서 측정한다(Sessler, 2021). 그러나 방광이나 직장에서의 체온 측정의 경우 직장의 대변과 방광의 소변으로 인해 측정된 온도가 실제 심부체온에 반영되는데 지연이 발생할 수 있기 때문에 수술 환자의 체온측정 부위로는 이상적인 측정 부위가 아닐 수 있다는 점을 고려해야 한다(Bock et al., 2005). 특히 심부체온은 수술 중 유지하고자 하는 목표 체온으로 간주되므로, 이와 같은 측정 부위와 더불어 이마 체온모니터링과 같은 편리하고, 비침습적이며 지속 모니터링 가능한 방법(Wang and Deng, 2023)에 대해서도 고려해 볼 필요가 있을 것으로 판단된다. 그러나 이마 체온모니터링은 COVID-19 팬데믹 이후 접촉 감염의 가능성을 줄인다는 장점

이 있지만 높은 정확도와 정밀도가 요구되는 임상 상황에서는 적합하지 않다는 보고도 있으므로 (Rauch et al., 2021) 사용에 신중을 기할 필요가 있다.

체온 측정 간격은 언급이 없는 1편을 제외하고 85.7%가 수술 중 10~20분 간격으로 체온을 측정하고 있었다. 이는 NICE 가이드라인(NICE Clinical Guidelines, 2016)에서 마취 전과 수술 중에는 30분 간격으로, 수술 종료 후 회복실 도착 시와 회복실에서는 15분 간격으로 체온을 측정하도록 권장하는 것에서 그 근거를 확인할 수 있다.

강제공기가온요법의 효과크기와 관련하여, 통계적으로 유의하지는 않았지만 강제공기가온요법의 저체온증에 대한 전체 효과크기는 중간 효과크기로 나타났다. 이는 척추 수술 환자의 강제공기가온요법에 대한 메타분석연구가 거의 없어 직접적인 비교는 어렵지만, 강제공기가온요법이 저체온증 예방에 상당한 효과가 있음을 의미한다. 따라서 저체온증과 같은 열 손실을 최소화하기 위해 강제공기가온요법이 일시적으로라도 중단되는 일이 없도록 수술과 마취 사이에도 팀 접근방식이 필요하다(Rauch et al., 2021). 수술 전·후 체온관리에 대한 국제 지침이 출판되어 있지만 (Hooper et al., 2009, NICE, 2016), 어떤 환자가 수술 전·후에 적극적인 체온 관리를 받아야 하는지에 대해서는 몇 가지 차이점이 있다. Hooper et al.(2009)은 수술 전·후 저체온증 발생 위험이 높은 환자군과 저체온증 관련 합병증 위험이 높은 환자를 언급하고, 이들에게 강제공기가온요법과 같은 적극적 가온요법을 적용해야 한다고 밝힌 반면, NICE(2016)에서는 환자가 어리고 저체온증이나 저체온증 관련 합병증 발생의 위험이 낮더라도 모든 환자에게 적극적인 체온관리를 제공하는 것이 비용 효과적이라고 하였다. 따라서 Rauch et al.(2021)은 전신마취 하 척추 수술 환자의 저체온증 예방을 위해서는 수술 전·중·후에 다음과 같은 10가지 사항이 지켜져야 한다고 주

장하였다. 먼저 수술 전에는 환자에게 수술 중 저체온증의 위험성에 대해 알려주고 보온에 힘써야 하며, 수술실로 이동하기 한 시간 전에 체온을 측정하고 체온이 36°C 미만이거나 37.5°C 이상인 경우 마취과에 알려야 한다. 또한 마취 유도를 시작하기 전에 강제공기가온요법과 같은 적극적 가온방법을 사용하여 적어도 10~30분 동안 환자를 따뜻하게 해주어야 한다. 수술 중에도 적극적 가온요법을 지속하고, 강제공기가온요법이 중단되는 것을 최소화하며, 지속적 혹은 15분 간격으로 체온을 측정하며, 많은 양의 수액이 공급되어야 하는 경우에는 수액을 가온해서 제공해야 한다. 수술 후 회복실에 도착하면 체온을 측정하고, 체온이 36°C 미만이라면 지속적으로 강제공기가온요법을 적용하며, 회복실에서 퇴실하기 전에 체온이 36°C 이상인지를 확인하여야 한다.

따라서 전신마취 하 척추 수술 환자의 저체온증을 예방하기 위해서는 강제공기가온요법과 같은 적극적 가온요법을 수술 전·중·후에 제공하여야 하며, 이를 통해 척추 수술 환자의 회복을 도울 수 있을 것이다.

이와 같은 연구 결과에도 불구하고 본 연구는 다음의 측면에서 제한적이므로 연구 결과 해석 시 고려해야 한다. 먼저, 체계적 고찰 과정에서 한정적인 시간 내에 발표한 연구를 데이터베이스를 이용하여 검색하였기 때문에 미발표 연구가 제외되었을 가능성이 있다. 다음으로 강제공기가온요법의 효과 검정을 위해 수술 직후 측정된 통계치를 사용하여 메타분석하였기 때문에 강제공기가온요법의 장기적인 효과를 살펴보지 못한 측면이 있다.

본 연구에서 무작위대조군연구만을 포함하여 분석을 실시하였음에도 불구하고 강제공기가온요법의 효과크기의 이질성이 높게 나타났으므로 이를 바탕으로 다음과 같은 제언을 하고자 한다. 첫째, 무작위 대조군 실험연구를 통한 추후 연구 결과를 축적한 후, 척추수술환자에 있어서 강제공기가온요법의 적용부위를 체계적으로 비교 분

석한 연구가 필요하다.

둘째, 마취약제, 결과측정 방법을 표준화한 무작위 대조군 실험연구의 반복을 통해, 권고할 만한 과학적 근거를 수립하여 향후 척추 수술 환자에서 강제공기가온요법의 실무 표준 확립이 필요하다.

References

- Ackermann W, Fan Q, Parekh AJ, Stoicea N, Ryan J and Bergese SD(2018). Forced air warming and resistive heating devices updated perspectives on safety and surgical site infections. *Frontiers in Surgery*, 5(64), 1~7.
<https://doi.org/10.3389/fsurg.2018.00064>
- Akers JL, Dupnick AC, Hillman EL, Bauer AG, Kinker LM and Wonder AH(2019). Inadvertent perioperative hypothermia risks and postoperative complications: A retrospective study. *AORN Journal*, 109(6), 741~747.
<https://doi.org/10.1002/aorn.12696>
- Andrzejowski J, Hoyle J, Eapen G and Turnbull D(2008). Effect of prewarming on post-induction core temperature and the incidence of inadvertent perioperative hypothermia in patients undergoing general anesthesia. *British Journal of Anaesthesia*, 101(5), 627~631.
<https://doi.org/10.1093/bja/aen272>
- Becerra Á, Valencia L, Ferrando C, Villar J and Rodríguez-Pérez A(2019). Prospective observational study of the effectiveness of prewarming on perioperative hypothermia in surgical patients submitted to spinal anesthesia. *Scientific Report*, 9(1), 16477.
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-52960-6>.
- Becerra Á, Valencia L, Saavedra P, Rodríguez-Pérez A and Villar J(2021). Effect of prewarming on body temperature in short-term bladder or prostatic transurethral resection under general anesthesia: A randomized, double-blind, controlled trial. *Scientific Report*, 11(1), 20762.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-00350-2>
- Bindu B, Bindra A and Rath G(2017). Temperature management under general anesthesia: Compulsion or option. *Journal of Anaesthesiol Clinical Pharmacology*, 33(3), 306~316.
https://doi.org/10.4103/joacp.JOACP_334_16
- Bock M, Hohlfeld U, Von Engeln K, Meier PA, Motsch J and Tasman AJ(2005). The accuracy of a new infrared ear thermometer in patients undergoing cardiac surgery. *Canadian Journal of Anesthesia*, 52, 1083~1087.
<https://doi.org/10.1007/BF03021609>
- Bräuer A, Perl T, Heise D, Quintel M and Seipelt R(2010). Intraoperative full-thickness pressure ulcer in a patient after transapical aortic valve replacement using a novel underbody forced-air warming blanket. *Journal of Clinical Anesthesia*, 22(7), 573~574.
<https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2009.12.012>
- Bräuer A, Brandes IF, Perl T, Wetz AJ and Bauer M(2014). Prewarming: Yesterday's luxury, today's minimum requirement. *Anaesthesist*, 63, 406~414.
<https://doi.org/10.1007/s00101-014-2316-9>
- Brodshaug I, Tettum B and Raeder J(2019). Thermal suit or forced air warming in prevention of perioperative hypothermia: A randomized controlled trial. *Journal of Perianesthesia Nursing*, 34(5), 1006~1015.
<https://doi.org/10.1016/j.jopan.2019.03.002>
- Buraimoh M, Nash A, Haward B, Yousaf I. et al(2019). Effect of forced air warming blanket position in elective lumbar surgery: Intraoperative body temperature and postoperative complications. *Surgical Neurology International*, 10(229), 1~5.
https://doi.org/10.25259/SNI_102_2019
- Cobbe KA, Di Staso R, Duff J, Walker K and Draper N(2012) Preventing inadvertent hypothermia: Comparing two protocols for preoperative forced-air warming. *Journal of PeriAnesthesia Nursing*, 27(1), 18~24.
<https://doi.org/10.1016/j.jopan.2011.10.005>
- Choi JE, Kim MS and Song JR(2017). Effectiveness of active warming intervention for women undergoing cesarean section: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Korean Academy of Fundamentals of Nursing*, 24(3), 167~180.
<https://doi.org/10.7739/jkafn.2017.24.3.167>
- Collins S, Budds M, Raines C and Hooper V(2019). Risk factors for perioperative hypothermia: a

- literature review. *Journal of PeriAnesthesia Nursing*, 34(2), 338~346.
<https://doi.org/10.1016/j.jopan.2018.06.003>.
- Dagistan Y, Okmen K., Dagistan E, Guler A, and Ozkan N(2015). Lumbar microdiscectomy under spinal and general anesthesia: A comparative study. *Turkish Neurosurgery*, 25(5), 685~689.
<https://doi.org/10.5137/1019-5149.JTN.10300-14.1>
- Duff J, Walker K, Edward K, et al.(2018). Effect of a thermal care bundle on the prevention, detection and treatment of perioperative inadvertent hypothermia. *Journal of Clinical Nursing*, 27(5 - 6), 1239~1249.
<https://doi.org/10.1111/jocn.14171>
- Finsterwald M, Muster M, Farshad M, Saporito A, Brada M, and Aguirre JA(2018). Spinal versus general anesthesia for lumbar spine surgery in high risk patients: Perioperative hemodynamic stability, complications and costs. *Journal of Clinical Anesthesia*, 46(3), 3~7.
<https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2018.01.004>
- Giuliano KK and Hendricks J(2017). Inadvertent perioperative hypothermia: Current nursing knowledge. *AORN Journal*, 105(5), 453~463.
<https://doi.org/10.1016/j.aorn.2017.03.003>
- Hassani V, Chaichian S, Rahimizadeh A, Darabi M et al(2018). Comparative study of the effect of warming at various temperatures on biochemical, hematologic, and hemodynamic parameters during spinal fusion surgery under intravenous anesthesia. *Anesthesia pain Medicine*, 8(4), e79814.
<https://doi.org/10.5812/aapm.79814>
- Higgins JPT and Green S. *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions version 5.1.0* [internet]. London, UK: The Cochrane Collaboration; 2011 [cited 2024 May 1]. Available from: <https://handbook-5-1.cochrane.org/>
- Hooper VD, Chard R, Clifford T, Fetzer S, Fossum S, Godden B, Martinez EA, Noble KA, O'Brien D, Odom-Forren J et al.(2009). ASPAN's evidence-based clinical practice guideline for the promotion of perioperative normothermia. *Journal of PeriAnesthesia Nursing*, 24, 271~287.
<https://doi.org/10.1016/j.jopan.2010.10.006>
- Lee HY, Kim GE and Shin YH(2018). Effects of perioperative warm socks-wearing in maintaining core body temperature of patients undergoing spinal surgery. *Journal of Clinical Nursing*, 27(7-8), 1399~1407.
<https://doi.org/10.1111/jocn.14284>
- Lynch S, Dixon J and Leary D(2010). Reducing the risk of unplanned peri-operative hypothermia. *AORN Journal*, 92, 553~562.
<https://doi.org/10.1016/j.aorn.2010.06.015>
- Madrid E, Urrütia G, Roqué I, Figuls M et al(2016). Active body surface warming systems for preventing complications caused by inadvertent perioperative hypothermia in adults. *Cochrane Database Systematic Review*, 2016(4):CD009016.
<https://doi.org/10.1002/14651858.CD009016.pub2>.
- McSwain JR, Yared M, Doty JW and Wilson SH(2015). Peri-operative hypothermia: Causes, consequences and treatment. *World Journal of Anesthesiology*, 4, 58~65.
- Meng T, Zhong Z, and Meng L(2017). Impact of spinal anaesthesia vs. general anaesthesia on peri-operative outcome in lumbar spine surgery: A systematic review and meta-analysis of randomised, controlled trials. *Anaesthesia*, 72(3), 391~401.
<https://doi.org/10.1111/anae.13702>
- Moher D, Liberati A, Tetzlaff J et al(2010). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analysis: The PRISMA statement. *International Journal of Surgery*, 8(5), 336~341.
<https://doi.org/10.7326/0003-4819-151-4-200908180-0135>
- Morris MT, Morris J, Wallace C, Cho W, Sharan A, Abouelrighal M, and Joseph V (2019). An analysis of the cost-effectiveness of spinal versus general anesthesia for lumbar spine surgery in various hospital settings. *Global Spine Journal*, 9(4), 368~374.
<https://doi.org/10.1177/2192568218795867>
- Murat I, Berniere J and Constant I(1994). Evaluation of the efficacy of a forced air warmer (Bair Hugger) during spinal surgery in children. *Journal of Clinical Anesthesia*, 6, 425~429.
- National Health Insurance Service(2022). 2022 Annual Report on Major Surgical Statistics. Available from: <https://www.nhis.or.kr/nhis/together/wbhaec06800m01.do?mode=view&articleNo=10839531> (accessed on 3 June 2024).

- NICE Clinical Guidelines(2016). Hypothermia: Prevention and management in adults having surgery. 2016 Dec No.65 [cited 2024 Jun 1]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554181>
- Nieh HC and Su SF(2016). Meta-analysis: Effectiveness of forced air warming for prevention of perioperative hypothermia in surgical patients. *Journal of Advanced Nursing*, 72(10), 2294~2314. <https://doi.org/10.1111/jan.13010>
- Prado CBC, Barichello E, Pires PS, Haas VJ and Barbosa MH(2015). Occurrence and factors associated with hypothermia during elective abdominal surgery. *Acta Paulista de Enfermagem*, 28, 475~481. <https://doi.org/10.1590/1982-0194201500079>
- Ralph N, Gow J, Conway A et al(2020). Costs of inadvertent perioperative hypothermia in Australia: A cost-of-illness study. *Collegian*, 27(4), 345~351. <https://doi.org/10.1016/j.colegn.2019.10.003>
- Rouch S, Miller C, Brauer A, Bock M and Paal P(2021). Perioperative hypothermia: A narrative review. *International Journal of Environment Research and Public Health*, 18, 8749. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168749>
- Ruetzler K and Kurz A(2018). Consequences of perioperative hypothermia. *Handbook of Clinical Neurology*, 157, 687~697. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64074-1.00041-0>
- Sessler DI(2021). Perioperative Temperature Monitoring. *Anesthesiology*, 134, 111~118. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000003481>
- Shariffuddin I, Hasan M, Chong T, Kwan M and Chan Y(2016). Under body forced air warming blanket versus persistent heating blanket for prevention of hypothermia during spinal surgery: A randomized prospective study. *JUMMEC*, 19(1), 1~6. <https://doi.org/10.4097/kja.21087>
- Ucak A, Catal AT, Karadag E and Cebeci F(2024). The effect of prewarming on perioperative hypothermia: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled studies. *Journal of Perianesthesia Nursing*, article in press. <https://doi.org/10.1016/j.jopan.2023.11.003>
- Wang JF and Deng XM(2023). Inadvertent hypothermia: A prevalent perioperative issue that remains to be improved. *Anesthesiology and Perioperative Science*, 1(3), 24. <https://doi.org/10.1007/s44254-023-00022-6>
- Yoo JH, Ok SY, Kim SH, Chung JW, Park SY, Kim MG, Cho HB, Song SH, Cho CY and Oh HC(2021). Efficacy of active forced air warming during induction of anesthesia to prevent inadvertent perioperative hypothermia in intraoperative warming patients: Comparison with passive warming, a randomized controlled trial. *Medicine*, 100(12), 1~8. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000025235>
- Yoo JH, Ok SY, Kim SH, Chung JW et al.(2022). Comparison of upper and lower body forced air blanket to prevent perioperative hypothermia in patients who underwent spinal surgery in prone position: A randomized controlled trial. *Korean Journal of Anesthesiology*, 75(1), 37~46. <https://doi.org/10.4097/kja.21087>
- Zheng XQ, Huang JF, Lin JL, Chen D and Wu AM(2020). Effects of preoperative warming on the occurrence of surgical site infection: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Surgery*, 77, 40~47. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2020.03.016>
- Zorrilla-Vaca A, Healy RJ, and Mirski MA(2017). A comparison of regional versus general anesthesia for lumbar spine surgery: A meta-analysis of randomized studies. *Journal of Neurosurgical Anesthesiology*, 29(4), 415~425. <https://doi.org/10.1097/ANA.0000000000000362>

• Received : 12 June, 2024

• Revised : 30 June, 2024

• Accepted : 25 July, 2024