

NECA-의료기술재평가사업

NECA-R-24-001-45 (2025. 3.)



의료기술재평가보고서 2025

# 비침습적 심기능 측정 [이산화탄소 부분 재호흡법]

## 의료기술재평가사업 총괄

---

김민정 한국보건의료연구원 보건의료평가연구본부 본부장

서재경 한국보건의료연구원 보건의료평가연구본부 재평가기획팀 팀장

## 연구진

---

### 담당연구원

박지정 한국보건의료연구원 재평가기획팀 부연구위원

### 부담당연구원

이승희 한국보건의료연구원 재평가사업팀 부연구위원

## 주 의

---

1. 이 보고서는 한국보건의료연구원에서 수행한 의료기술재평가사업(NECA-R-24-001)의 결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 신문, 방송, 참고문헌, 세미나 등에 인용할 때에는 반드시 한국보건의료연구원에서 수행한 평가사업의 결과임을 밝혀야 하며, 평가내용 중 문의사항이 있을 경우에는 주관부서에 문의하여 주시기 바랍니다.

요약문(국문) ..... i  
알기 쉬운 의료기술재평가 ..... |

**I. 서론 ..... 1**

1. 평가배경 ..... 1  
    1.1 평가대상 의료기술 개요 ..... 2  
    1.2 국내외 보험 및 행위등재 현황 ..... 7  
    1.3 현존하는 의료기술 ..... 13  
    1.4 국내외 임상진료지침 ..... 16  
    1.5 기존 의료기술평가 ..... 18  
    1.6 체계적 문헌고찰 및 일차문헌 ..... 18  
2. 평가목적 ..... 19

**II. 평가방법 ..... 20**

1. 체계적 문헌고찰 ..... 20  
    1.1 개요 ..... 20  
    1.2 핵심질문 ..... 20  
    1.3 연구검색 ..... 21  
    1.4 연구선정 ..... 22  
    1.5 비뚤림위험 평가 ..... 22  
    1.6 자료추출 ..... 23  
    1.7 자료합성 ..... 23  
2. 권고등급 결정 ..... 23

**III. 평가결과 ..... 24**

1. 연구선정 결과 ..... 24  
    1.1 연구선정 개요 ..... 24  
    1.2 선택연구특성 ..... 25  
    1.3 비뚤림위험 평가 ..... 28  
2. 평가결과 ..... 29  
    2.1 안전성 ..... 29  
    2.2 효과성 ..... 29

<b>IV. 결과요약 및 결론</b>	<b>35</b>
1. 평가결과 요약	35
1.1 안전성	35
1.2 효과성	35
2. 결론 및 권고결정	36
<b>V. 참고문헌</b>	<b>37</b>
<b>VI. 부록</b>	<b>39</b>
1. 의료기술재평가위원회	39
2. 소위원회	40
3. 연구검색전략	41
4. 비뚤림위험 평가 및 자료추출 양식	43
5. 최종 선택연구	46

## 표 차례

표 1.1 식품의약품안전처 소요장비 .....	5
표 1.2 건강보험 요양 급여·비급여 비용 목록 등재 현황(2024년 7월판) .....	7
표 1.3 비침습적 심기능 측정-(3)이산화탄소 부분 재호흡법 고시항목상세 .....	8
표 1.4 비침습적 심기능 측정-세부인정사항 .....	9
표 1.5 고시 및 비용 정보 비교 .....	10
표 1.6 비침습적 심기능 측정법의 국내 이용현황 .....	11
표 1.7 비교기술의 국내 이용현황 .....	11
표 1.8 국외 보험 및 행위 등재 현황 .....	12
표 1.9 비침습적 심박출량 모니터링 기술에 대한 장점 및 제한점 .....	15
표 1.10 신의료기술평가(2017) 결과 .....	18
표 2.1 PICOTS-SD (안) .....	20
표 2.2 국외 전자 데이터베이스 .....	21
표 2.3 국내 전자 데이터베이스 .....	21
표 2.4 연구의 선정 및 배제 기준 .....	22
표 2.5 권고등급 체계 및 정의 .....	23
표 3.1 선택연구의 특성 .....	26
표 3.2 참고표준검사와의 심박출량 일치도 .....	30
표 3.3 참고표준검사와의 심박출량 상관성 .....	33
표 3.4 심박출량 측정 및 감시에 대한 측정정확도 결과요약표 .....	34

## 그림 차례

---

그림 1.1 비침습적 심박출량 감시가 가능한 의료기술 .....	2
그림 1.2 이산화탄소 부분 재호흡법의 작용 원리 .....	4
그림 1.3 이산화탄소 부분 재호흡법 - NICO(환자감시장치, 센서) 장비 .....	6
그림 1.4 이산화탄소 부분 재호흡법 - Efficia CM120(환자감시장치) 장비 .....	6
그림 1.5 쇼크 환자에서 심장기능 및 혈액학적 감시 평가에 관한 알고리즘 .....	17
그림 3.1 연구선정 흐름도 .....	24
그림 3.2 QUADAS-2 비뚤림위험과 적용가능성에 대한 우려 그래프 .....	28
그림 3.3 QUADAS-2 비뚤림위험과 적용가능성에 대한 우려 요약 .....	28

# 요약문(국문)

## 평가배경

혈역학적 감시란 혈역학적 불안정성을 보이는 중증 환자에서 진단과 치료를 목적으로 혈역학 지표들을 지속적으로 확인하는 것을 말한다. 기본적으로는 혈압, 심박수, 호흡수 등 생체징후의 감시를 포함하며, 침습적 방법으로는 혈관 내 도관을 삽입하여 동맥압, 중심정맥압, 심박출량 등을 측정하는 방법이 사용되고 있다. 최근에는 기술의 발전에 따라, 보다 간편하고 안전하게 적용할 수 있는 비침습적인 심기능 측정기술이 개발되면서, 임상 현장에서의 활용이 점차 점차 확대되고 있다.

비침습적 심기능 측정 [이산화탄소 부분 재호흡법]은 기계 환기 중인 환자의 튜브에 심박출량 센서를 연결한 후 호흡가스 분석을 기반으로 심박출량 수치를 비침습적으로 측정하는 검사법이다. 지속적으로 심박출량 측정 및 감시가 필요한 기계 환기 중인 성인 환자(단, 심각한 폐 손상이 있거나 폐 내 단락 정도가 심한 환자 제외)를 대상으로 지속적 심기능 측정을 위해 사용된다. 국내에서는 2017년 신의료기술평가를 받은 후, 2020년 선별급여 80% 항목으로 신설되어 현재까지 유지되고 있다.

해당 의료기술은 선별급여 항목의 적합성 평가 주기를 고려하여 내부 모니터링으로 발굴된 안전으로, 2024년 제8차 의료기술재평가위원회(2024.8.9.)에서 재평가 계획서 및 소위원회 구성안에 대한 심의를 받고 재평가를 수행하였다.

## 평가목적

본 평가의 목적은 비침습적 심기능 측정 [이산화탄소 부분 재호흡법]이 지속적으로 심기능 측정이 필요한 기계 환기 중 성인 환자에서 심박출량을 측정 및 감시하는데 임상적으로 안전하고 효과적인지에 대한 근거를 제공하고 의료기술재평가 권고등급을 결정하기 위함이다.

## 평가방법

이산화탄소 부분 재호흡법에 대한 안전성 및 효과성 평가를 위해 체계적 문헌고찰을 수행하였다. 모든 평가방법은 평가 목적을 고려하여 “비침습적 심기능 측정 통합 소위원회(이하 ‘소위원회’라 한다)”의 논의를 거쳐 확정하였다. 통합 소위원회 구성은 순환기내과 3인, 호흡기내과(중환자의학) 2인, 흉부외과 2인, 마취통증의학과 2인, 근거기반의학 1인의 전문가 10인으로 구성하였다.

본 평가는 지속적으로 심박출량 측정 및 감시가 필요한 기계 환기 중인 성인 환자를 대상으로, 안전성

과 효과성을 확인하였다. 안전성은 검사 관련 부작용 및 이상반응을 포함하였으며, 효과성은 참고표준검사인 폐동맥 카테터를 이용한 열회석법과의 측정정확성, 진단정확성, 의료결과와의 영향을 지표로 설정하였다.

연구문헌은 핵심질문을 토대로 국외 3개(Ovid-MEDLINE, Ovid-EMBASE, EBM Reviews-Cochrane Central Register of Controlled Trials), 국내 3개(KoreaMed, 한국의학논문데이터베이스(KMbase), 한국교육학술정보원(RISS) 데이터베이스에서 검색하였다(최종검색일 2024.10.17.).

최종 선택된 연구의 비뚤림위험 평가는 Quality assessment of diagnostic accuracy studies-2 (QUADAS-2)를 사용하였다. 사전에 정한 자료 추출 서식을 활용해 자료를 추출하고 정량적 합성이 불가능하여 정성적으로 기술하였다. 모든 과정은 2명의 평가자가 독립적으로 수행하였으며, 의견이 불일치한 경우 평가자 간 합의를 통해 일치된 결과를 도출하였다.

본 평가는 소위원회 검토 결과를 바탕으로 의료기술재평가위원회에서 최종심의 후 권고등급을 결정하였다.

## 평가결과

체계적 문헌고찰 결과 선택된 연구는 총 16편(대상자 수 439명, 평균연령 46~72세)으로 모두 기존 신의료기술평가(2017) 시 포함되었으며 신의료기술평가 이후 새롭게 추가된 연구는 없었다. 모든 연구는 기계 환기 중인 성인 환자를 대상으로 수행된 진단법평가연구였으며, 세부질환별로 심장 수술(관상동맥우회술, 대동맥재건술 등) 관련 연구가 9편, 그 외 내외과적 이유로 중환자실을 이용하고 있는 중증환자, 폐손상 환자가 포함되었다. 연구의 비뚤림위험 평가결과, 비뚤림위험 및 적용가능성에 대한 우려는 전반적으로 낮았으나(Low), 일부 ‘환자선택’ 및 ‘연구진행과 관점’과 관련된 구체적인 내용을 확인할 수 없어 불확실(Unclear)로 평가하였다.

## 안전성

이산화탄소 부분 재호흡법에 따른 부작용 및 이상반응을 보고한 연구는 없었다. 그러나 소위원회에서는 해당 의료기술이 기계 환기 중인 환자의 튜브에 센서를 연결하여 비침습적으로 수행되는 검사법으로 검사 수행에 따른 안전성은 기존의 침습적 심박출량 측정 검사보다 안전한 것으로 평가하였다.

## 효과성

이산화탄소 부분 재호흡법의 효과성은 측정정확성(참고표준검사/비교검사와의 일치도 및 상관성), 진단정확성, 의료결과에의 영향(검사로 인한 치료방법 변화 등)으로 평가하고자 하였으나, 진단정확성과 의료결과에의 영향을 보고한 연구는 없어 측정정확성과 관련된 연구결과만 확인할 수 있었다. 측정정확성은 총 16편의 연구를 중심으로 참고표준검사와의 상관성, 참고표준과의 일치도로 나누어 확인하였다.

이산화탄소 부분 재호흡법과 참고표준검사의 일치도는 14편에서 보고하였다. 참고표준검사와 심박출량 일치도는 bias  $-2.30 \sim 0.80$ L/min, 1SD  $-0.64 \sim 2.71$ L/min, 백분율 오차(percentage error, PE) 22.4~52%였으며, 심각한 폐손상이 있거나 폐 내 단락 정도가 심한 환자 결과를 제외한 경우에 bias  $-1.73 \sim 0.80$ L/min, 1SD  $-0.63 \sim 2.71$ L/min로 일치도가 더 좋았다. 1개 연구에서는 해당 검사와 표준검사와의 일치도(bias  $-0.17$ , 1SD 1.45)가 비교검사인 PCCO (continuous pulse contour analysis)(bias  $-0.12$ , 1SD 1.33)보다 더 낮은 것으로 나타났다.

이산화탄소 부분 재호흡법과 참고표준검사의 상관성은 11편의 연구에서 상관계수와 결정계수로 보고하였다. 해당 검사와 참고표준검사의 상관계수는 0.34~0.96 범위 내에서 보고되었으며, 연구대상자의 특성(폐손상 정도, 자가호흡 여부 및 호흡량 등)에 따른 중재검사의 정확도를 확인한 2편의 연구를 제외한 경우 0.69~0.96였다.

해당 검사와 참고표준검사의 결정계수는 0.38~0.90 범위 내에서 보고되었으며, 심각한 폐손상이 있거나 폐 내 단락 정도가 심한 환자의 결과를 제외한 경우 0.42~0.90이었다.

## 결론 및 권고결정

의료기술재평가 소위원회에서는 현재 평가결과에 근거하여 다음과 같이 제언하였다.

소위원회에서는 비침습적 심기능 측정 [이산화탄소 부분 재호흡법]이 기존 신의료기술평가(2017) 이후 추가 축적된 근거가 없어 동 기술의 안전성 및 효과성을 판단하기 어렵다고 보았다. 참고로 기존 신의료기술평가 시, 동 기술은 기계 환기 중인 환자의 튜브에 센서를 연결하여 비침습적으로 수행되는 검사법으로 기존의 침습적 심박출량 측정 검사보다 안전한 것으로 보았으며, 측정정확성(일치도, 상관성)이 임상적으로 허용가능한 범위의 정확도를 가진 검사라고 평가하였다.

2025년 제3차 의료기술재평가위원회(2025. 3. 14.)는 ‘비침습적 심기능 측정 [이산화탄소 부분 재호흡법]’에 대해 다음과 같이 심의하였다.

의료기술재평가위원회는 임상적 안전성과 효과성의 근거 및 그 외 평가항목 등을 종합적으로 고려하였을 때, 근거가 충분하지 않아 국내 임상상황에서 지속적으로 심박출량 측정 및 감시를 위해 침습적인 기존 검사법을 적용하기 어려운 기계 환기 중인 성인 환자에서 심박출량의 추이를 지속적으로 감시하기 위한 목적으로 이산화탄소 부분 재호흡법 사용을 ‘권고보류’로 심의하였다.

## 주요어

기계 환기, 비침습적 심기능 측정, 이산화탄소 부분 재호흡법, 안전성, 효과성

Mechanical Ventilation, Noninvasive Cardiac Function Monitoring, Partial Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) Rebreathing, Safety, Effectiveness

# 알기 쉬운 의료기술재평가

## 비침습적 심기능 측정 - 이산화탄소 부분 재호흡법은 안전하고 효과적인가?

### 질환 및 의료기술

‘이산화탄소 부분 재호흡법’은 기계 호흡 중인 환자의 튜브에 심박출량 센서를 연결하고 이산화탄소 함량을 분석하여 심박출량을 측정하는 검사법이다. 심박출량은 심장 박동을 통해 전신으로 나가는 분당 혈액 양으로 여러 가지 비침습적 또는 최소침습적인 방법으로 측정할 수 있으며, 열희석법, 식도 초음파, 바이오임피던스, 이산화탄소 부분 재호흡법 등이 포함된다. 해당 의료기술은 가장 대표적인 검사법인 열희석법에 비해 비침습적으로 쉽게 심박출량을 측정할 수 있다는 장점이 있으며, 국내에서는 지속적인 심박출량의 측정 및 감시가 필요한 기계 호흡 중인 성인 환자에게 선별급여(본인부담률 80%)로 사용되고 있다.

### 의료기술의 안전성 · 효과성

기계 환기 중인 성인 환자에서 이산화탄소 부분 재호흡법을 이용한 비침습적 심기능 측정 검사법이 지속적으로 심박출량을 측정하고 감시하는데 안전하고 정확한지 평가하기 위해 16편의 문헌을 확인하였다. 이산화탄소 부분 재호흡법은 과거(2017년) 신의료기술평가 시, 기계 환기 중인 환자의 튜브에 센서를 연결하여 비침습적으로 수행되는 검사법으로 기존의 침습적 심박출량 측정 검사보다 안전한 것으로 보았으며, 측정정확성(참고표준검사와의 일치도, 상관성)이 임상적으로 허용가능한 범위의 정확도를 가진 검사라고 평가한 바 있다. 그러나 이후 추가 축적된 근거가 전혀 없어 현재 시점에서 동 기술의 안전성 및 효과성을 판단하기는 어렵다고 보았다.

### 결론 및 권고문

의료기술재평가위원회는 임상적 안전성과 효과성의 근거 및 그 외 평가항목 등을 종합적으로 고려했을 때 근거가 충분하지 않아 국내 임상상황에서 지속적으로 심박출량 측정 및 감시를 위해 침습적인 기존 검사법을 적용하기 어려운 기계 환기 중인 성인 환자에서 심박출량의 추이를 지속적으로 감시하기 위한 목적으로 이산화탄소 부분 재호흡법 사용을 ‘권고보류’로 심의하였다.

## 1. 평가배경

비침습적 심기능 측정법(①바이오리액턴스법, ②바이오임피던스법, ③이산화탄소 부분 재호흡법, ④볼륨 클램프 방식 및 생리적 보정법, ⑤맥파전송시간 이용법)은 신의료기술평가를 거쳐 선별급여(80%)로 등재된 기술들로, 선별급여 적합성 평가 시기(2025년)를 고려하여 내부 모니터링을 통해 발굴되었다. 이 중, 이산화탄소 부분 재호흡법은 기계 환기 중인 환자의 튜브에 심박출량 센서를 연결한 후 호흡가스 분석을 기반으로 지속적으로 심박출량 수치를 측정하는 비침습적인 심기능 측정법이다.

2024년 제8차 의료기술재평가위원회(2024.8.9.)에서 재평가 계획서 및 소위원회 구성안에 대한 심의를 받고 재평가를 수행하였다.

### 1.1 평가대상 의료기술 개요

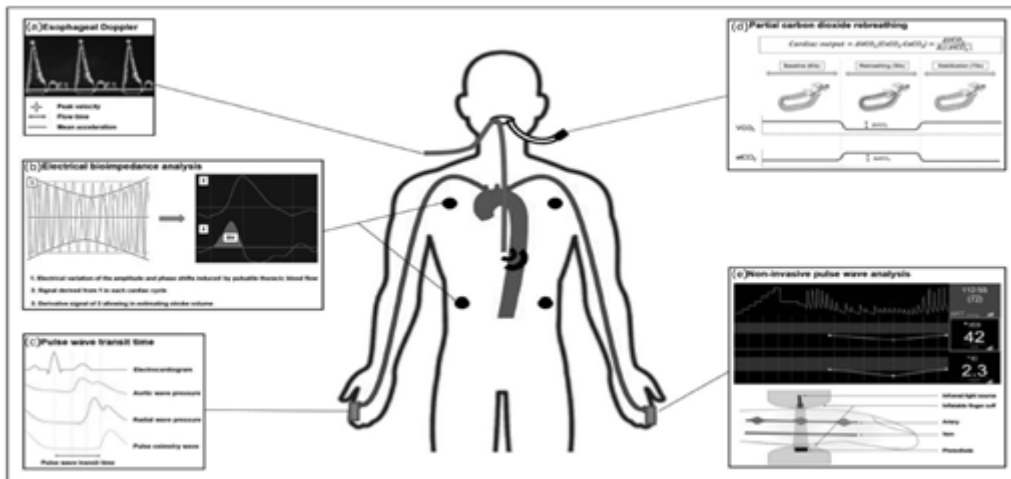
#### 1.1.1 혈역학적 검사

혈역학적 감시는 중증 환자의 집중치료의 기반을 형성하는 주춧돌이다. 혈역학적 감시를 통해 얻은 정보는 관류압 유지, 쇼크 원인 규명, 치료계획 수립에 활용한다(홍석경, 2012). 연속적인 동맥혈압(arterial blood pressure, AP)은 수술 전후 및 중환자 진료에서의 혈역학적 모니터링의 필수 요소이며, 심박출량(cardiac output, CO) 또는 심박지수(cardiac index, CI)의 평가 및 최적화는 고위험 수술 환자나 복잡한 쇼크 상태의 환자에서 권장된다. 연속적인 동맥혈압 모니터링의 참고표준 검사는 요골동맥, 상완동맥, 대퇴동맥 등에 삽입한 동맥카테터를 이용한 직접적인 침습적 방법이고, CO/CI 측정을 위한 표준적인 방법은 간헐적 폐동맥 열희석법(intermittent pulmonary artery thermodilution) 및 경폐 열희석법(transpulmonary thermodilution)과 같은 침습적인 방법이나, 침습성으로 인해 광범위한 사용에는 제한이 있다. 최근에는 손가락 커프 기술(일명, 볼륨 클램프 방식(volume clamp method) 또는 혈관 언로딩 기법(vascular unloading technique))이 개발되어 비침습적인 방법으로 AP 및 CO/CI를 맥파 분석(pulse wave analysis)을 통해 연속적으로 측정할 수 있다(Saguel et al., 2020).

#### 1.1.2 비침습적 검사

Ruste 등(2023)은 지속적으로 심박출량 측정 및 감시가 필요한 환자를 대상으로 심박출량을 측정하고 감시하는 대표적인 비침습적 심기능 측정법을 다음과 같이 5가지로 정리하였다.

- (1) 바이오리엑턴스법 : 흉부에 4개의 스티커형 전극을 부착하고 본체에 연결하여 심박출량을 측정 및 감시한다.
- (2) 바이오임피던스법 : 스티커형 전극을 체표면에 부착하고 신체적 교류저항의 변화를 측정하여, 모니터에 나타난 심박출량 수치를 확인한다.
- (3) 이산화탄소 부분 재호흡법 : 기계 환기 환자의 튜브에 심박출량 센서를 연결한 후 호흡가스 분석을 기반으로 심박출량 수치를 측정한다.
- (4) 볼륨 클램프 방식 및 생리적 보정법 : 손가락에 커프를 감은 후 손가락과 심장의 높이 차이 및 생리적 특성을 보정하여 상완동맥혈압 파형으로 재현/산출된 혈압/심박출량 수치를 모니터링한다.
- (5) 맥파전송시간 이용법 : 심전도, 산소포화도, 혈압을 측정하여 산출된 맥파전송시간과 심박수를 이용하여 심박출량 수치를 지속적으로 확인한다.



- (a) 식도 도플러를 이용한 심박출량 측정: Signal obtained from esophageal Doppler allowing the determination of cardiac output, and illustration of other indices used to analyze contractility and afterload.
  - (b) 바이오임피던스법: Amplitude variations (bioimpedance) and phase shifts (bioreactance) induced by pulsatile flow in the aorta on a current between thoracic electrodes (1) and signal provided at each cardiac cycle (2, 3).
  - (c) 맥파전송시간 이용법: pulse wave transit time
  - (d) 이산화탄소 부분 재호흡법: Principles used to determine cardiac output with partial carbon dioxide rebreathing:  $CaCO_2$ , arterial content of carbon dioxide;  $CvCO_2$ , venous content of carbon dioxide;  $etCO_2$ , end-tidal carbon dioxide concentration;  $S.setCO_2$ , slope of the  $CO_2$  dissociation curve;  $VCO_2$ , carbon dioxide production.
  - (e) 볼륨 클램프 방식 및 생리적 보정법: Illustration of volume clamp method to determine arterial pressure. The arterial pressure curve shows the calibration phase, followed by a cardiac index decrease (determined from a pulse contour analysis) induced by a recruitment maneuver.
- ART, arterial pressure; IC, cardiac index; VES, stroke volume.

그림 1.1 비침습적 심박출량 감시가 가능한 의료기술

(출처 : Ruste et al., 2023)

### 1.1.3 이산화탄소 부분 재호흡법

이산화탄소 부분 재호흡법 사용을 위한 구체적인 방법은 다음과 같다(신의료기술평가보고서, 2017).

#### ① 센서 연결

모니터에 센서, 서킷 등을 연결함. SpO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> 센서 등을 장비와 연결하고, 적절한 심박출량 센서를 선택하여 CO<sub>2</sub> 센서 등을 장비와 연결하고, 적절한 심박출량 센서를 선택하여 CO<sub>2</sub> 센서에 연결함. 심박출량 센서는 기관 내 삽관(endotracheal tube)과 인공호흡 서킷의 Y관 사이에 위치시킴

#### ② 모니터링

(i) 환자 정보를 입력함(키, 몸무게, 전달되는 산소, 마취제, balanced 가스 등)

(ii) ‘STOP/CONTINUE REBREATHING’ 버튼을 눌러 모니터링을 시작함

- 화면상의 Rebreathing 바는 재호흡률을 표시함. OK 범위(35~70%) 이상이나 이하로 떨어지는 경우 ‘EXPAND LOOP’, ‘RETRACT LOOP’ 창이 표시되므로 rebreathing 루프 길이를 조절함

- 심박출량 사이클(cardiac output cycle)

rebreathing이 가능하면 모니터는 자동으로 3분간 심박출량 사이클을 반복하며 이 사이클은 3단계(기본구간(baseline), 재호흡구간(rebreathing), 안정화구간(stablization))으로 구성됨. 세 번째 사이클이 끝나면 ‘CONTINUE REBREATHING’ 버튼이 활성화됨

(iii) Rebreathing의 OFF, ON을 원하는 경우 “STOP/CONTINUE REBREATHING” 버튼을 눌러 Rebreathing을 시작 또는 중지할 수 있음. Rebreathing의 일시 정지는 아래와 같은 조건일 경우 자동으로 이루어짐

- EtCO<sub>2</sub>가 15mmHg 이하나 85mmHg 이상일때

- 호흡수가 분당 3회 이하나 60회 이상일 때

- VCO<sub>2</sub>가 20mL/min 이하일 때

이산화탄소 부분 재호흡법을 통해 심박출량을 산출하는 공식은 다음과 같다(Ruste et al., 2023).

$$Cardiac\ Output = \Delta VCO_2 (CvCO_2 - CaCO_2) = \frac{\Delta VCO_2}{\Delta (s.et\ CO_2)}$$

CaCO<sub>2</sub>, arterial content of carbon dioxide(동맥 내 이산화탄소 함량)

CvCO<sub>2</sub>, venous content of carbon dioxide(정맥 내 이산화탄소 함량)

S.etCO<sub>2</sub>, slope of end-tidal carbon dioxide concentration(호기말 이산화탄소 분압 기울기)

VCO<sub>2</sub>, carbon dioxide production(체외로 배출되는 이산화탄소 양)

출처: Ruste 등(2023)

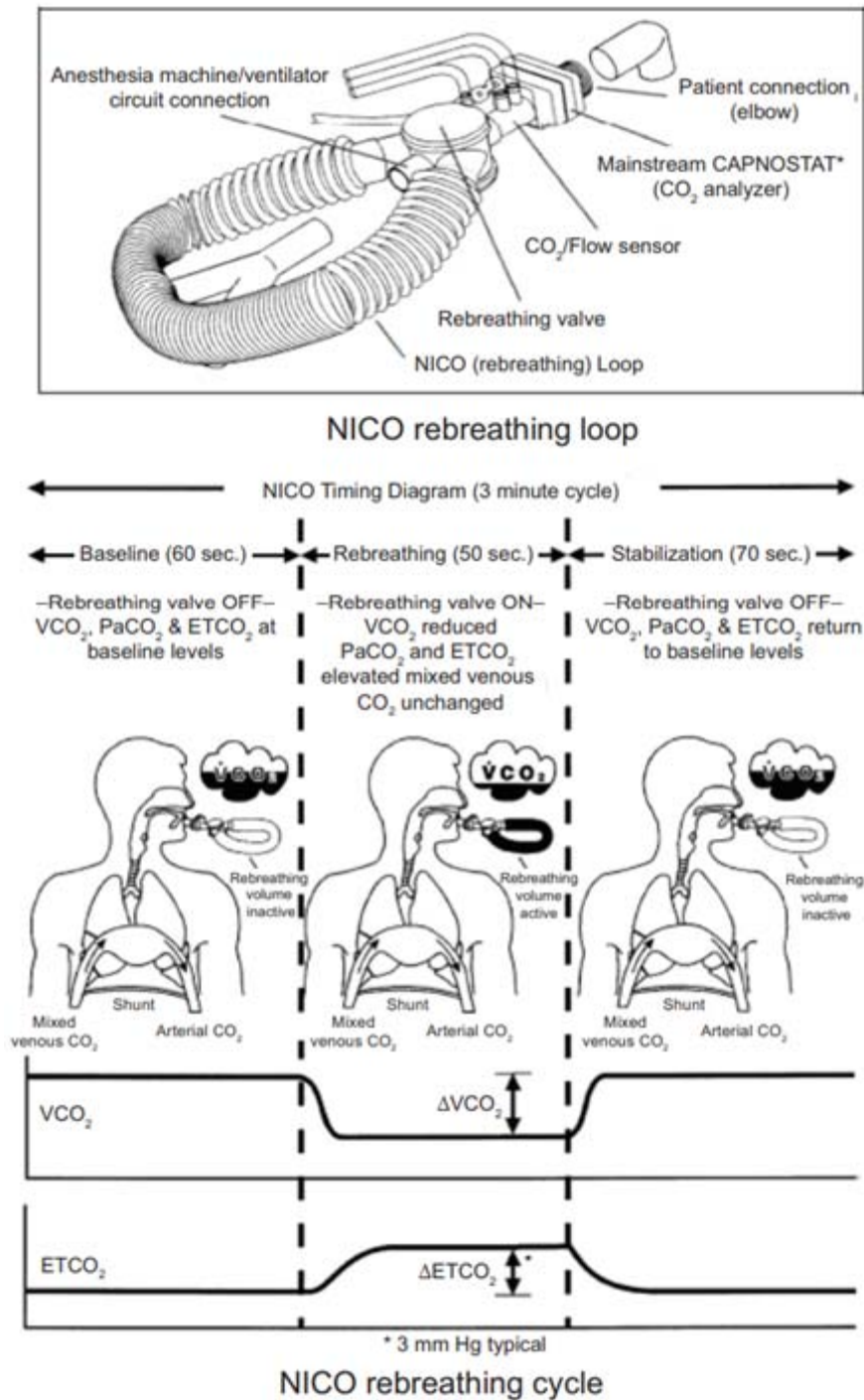


그림 1.2 이산화탄소 부분 재호흡법의 작용 원리

출처: Karnik HS, Nerurkar AA, Bawankule N. A Study of Noninvasive Cardiac Output and Other Cardiorespiratory Parameters in Various Neurosurgical Positions. Research & Innovation in Anesthesia, January-June 2016;1(1):19-24.

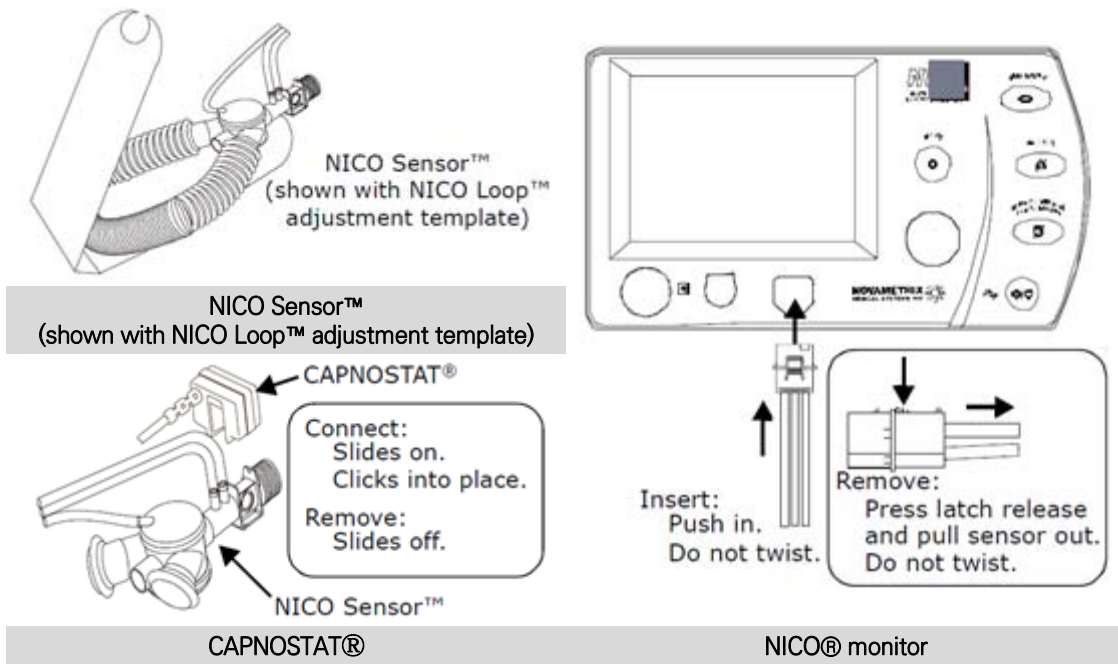
### 1.1.4 소요장비

이산화탄소 부분 재호흡법에 사용되는 소요장비로 환자감시장치와 체외형 범용 프로브(sensor)가 확인되었으며, 국내 식품의약품안전처의 주요 허가사항은 다음 표와 같다. 국내에서 환자감시장치 중, NICO 및 NM3 모델이 취소·취하되었으나, Efficia CM120은 정상 상태로 등록되어 있다.

표 1.1 관련 식품의약품안전처 소요장비

품목명	제품명 (모델명)	수입업자	제조사	허가일(허가번호) /취소취하일	분류번호 (등급)	사용목적	비고
환자 감시 장치	(Model 7300 : NICO, Respiratory Profile Monitor)	메디언스	Respironics Novame trix, LLC	2004.07.23. (수허04-1016호)  취하 2012.06.22.	A26090 (2)	Cardiac Output 이외에 Stroke Volum, Cardiac Index 등의 계산이 필요한 수치를 실시간으로 표시하고, EtCO <sub>2</sub> 와 SpO <sub>2</sub> 등을 감시하는 장비이다.	
	NM3 (Model 7900)	필립스 코리아	Respironics Novame trix, LLC	2012.7.26. (수인12-1120호)  취하 2023.12.13.	A26090. 01 (2)	환자의 각종 생체 정보 현상을 감시하는 기구로서 유해한 경우에는 시각 또는 청각 등에 의한 경보를 발생한다.	일회용: 아니오
	(Efficia CM120)	필립스 코리아	Philips Goldway (Shenzhen) Industrial Inc.	2015.7.17. (수인15-1318호)	A26090. 01 (2)	환자의 각종 생체 정보 현상을 감시하는 기구로서 유해한 경우에는 시각 또는 청각 등에 의한 경보를 발생한다.	
체외형 범용 프로브	CO <sub>2</sub> sensor kit TG-900 & YG series (CO <sub>2</sub> sensor kit TG-900P)	니혼코덴 코리아	Nihon Kohden Corporation	2012.10.19. (서울 수신 12-2030호)			
	CO <sub>2</sub> Sensor (M2501A)	필립스 코리아	Philips Medizin Systeme Boebling en GmbH	2020.12.11. (수신20-2785호)	A58020. 01 (1)	탐촉자, 디텍터 등 신호를 전달·측정하는 체외형 범용 프로브	일회용: 아니오
	(CO <sub>2</sub> Mainstream Sensor)	한국드레가	Draeger werk AG & Co.KGaA	2022.4.14. (수신22-640호)			

출처: 식품의약품안전처, 의료기기전자민원시스템, 홈페이지.  
<https://emedi.mfds.go.kr/msismext/emd/min/mainView.do>



출처: Novamatrix Medical Systems Inc. NICO<sub>2</sub> User's Manual (Model 7300)

그림 1.3 이산화탄소 부분 재호흡법 - NICO(환자감시장치, 센서) 장비



출처: PHILIPS Efficia CM120 Patient Monitor Brochure

그림 1.4 이산화탄소 부분 재호흡법 - Efficia CM120(환자감시장치) 장비

## 1.2 국내외 보험 및 행위등재 현황

### 1.2.1 국내 보험 및 행위등재 현황

건강보험요양급여비용 목록에 ‘비침습적 심기능 측정[1일당]-나. 기타의 경우-(1)~(5)’에 선별급여로 등재되었으며, 각 검사법의 상대가치점수 및 수가정보는 다음과 같다.

표 1.2 건강보험 요양 급여·비급여 비용 목록 등재 현황(2024년 7월판)

분류번호	코드	분류	상대가치 점수	수가정보(원)**	
				(의원)	(병원)
<b>제2부 행위 급여 목록</b>					
제2장 검사료					
제3절 기능 검사료					
【순환기 기능 검사】					
나-722		<b>스완-간즈 카테터법에 의한 검사 Test by Swan-Ganz Catheter</b>			
	E7221	가. 카테터 삽입술 당일 [카테터 삽입료 포함] 주: 심박출량 측정과 폐동맥압 및 폐기압 측정은 소정점수에 포함되므로 별도 산정하지 아니한다.	2,813.14	263,310	228,430
	E7222	나. 심박출량 측정 [1일당] Cardiac Output	271.04	25,370	22,010
	E7223	다. 폐동맥압 및 폐기압 측정 [1일당] Pulmonary Artery Pressure and Pulmonary Capillary Wedge Pressure Monitoring	235.38	22,030	19,110
나-722-1		<b>비침습적 심기능 측정 [1일당] Noninvasive Cardiac Function Monitoring</b>			
	E7225	가. Esophageal Probe를 이용한 경우 주: 사용된 Esophageal Probe는 별도 산정한다. 나. 기타의 경우 주: 1. 「선별급여 지정 및 실시 등에 관한 기준」 별표2에 따른 요양급여 적용 2. 사용된 재료대는 별도 산정한다.	292.89	27,410	23,780
	EZ873	(1) 바이오리액턴스법 Bioreactance Technology	292.89	27,410	23,780
	E7226	(2) 바이오임피던스법 Bioimpedance Technology	272.71	25,530	22,140
	E7220	(3) 이산화탄소 부분 재호흡법 Partial Carbon Dioxide Rebreathing 주: 사용된 1회용 치료재료(심박출량 센서)는 별도 산정하지 아니한다.	652.06	61,030	52,950
	E7224	(4) 볼륨 클램프 방식 및 생리적 보정법 Volume Clamp and Physiological Method 주: 1. 동일 방법으로 측정된 혈압감시는 소정점수에 포함되므로 별도 산정하지 아니한다. 2. 사용된 CUFF 재료대는 치료기간 중 1개 별도 산정한다.	292.89	27,410	23,780
	E7235	(5) 맥파전송시간 이용법 주: 사용된 1회용 치료재료대는 별도 산정하지 아니한다.	292.89	27,410	23,780
나-722-4	E7227	<b>동맥압에 기초한 심기능 측정 [1일당] Aterial Pressure Based Continuous Cardiac Function Monitoring</b> 주: 1. 「너-874 침습적동맥압혈압 측정」 또는 「바-3-다 마취 중 침습적 동맥압감시」와 동시에 실시하는 경우에는 주된 항목의 소정점수만 산정한다. 2. 사용된 재료대는 별도 산정한다.	620.80	58,110	50,410
나-722-5		<b>열희석법 보정 후 동맥압에 기초한 심기능 측정</b>			

분류번호	코드	분류	상대가치 점수	수가정보(원)**	
				(의원)	(병원)
		Aterial Pressure Based Continuous Cardiac Function Monitoring after Calibration by Transpulmonary Thermodilution 주: 1. 「선별급여 지정 및 실시 등에 관한 기준」 별표2에 따른 요양급여 적용 2. 사용된 재료대는 별도 산정한다.			
	E7228	가. 카테터 삽입술 당일 [카테터 삽입료 포함]	1,413.26	132,280	114,760
	E7229	나. 익일부터 [1일당]	240.52	22,510	19,530
		제3장 영상진단 및 방사선치료료 제5절 초음파 검사료 【진단초음파】			
나-943		심장			
	EB430	가. 경흉부 심초음파 Transthoracic Echocardiography 주: 선천성 심질환에 검사를 실시한 경우 1,006.68점을 별도 산정한다.			
	EB431	(1) 단순 Simple	1,077.69	100,870	87,510
	EB432	(2) 일반 General	1,701.11	159,220	138,130
	EB433	(3) 전문 Advanced	2,480.39	232,160	201,410
		나. 부하 심초음파 Stress Echocardiography			
	EB434	(1) 약물부하 Pharmacologic Stress	5,017.15	469,610	407,390
	EB435	(2) 운동부하 Exercise	4,770.34	446,500	387,350
	EB436	다. 태아정밀 심초음파 Detailed Fetal Echocardiography	3,727.23	348,870	302,650

\*\* 건강보험심사평가원 요양기관포털-심사기준종합서비스-수가정보(2024.6.13. 조회)

건강보험요양급여비용 목록에 선별급여로 등재된 ‘비침습적 심기능 측정[1일당]-(3)이산화탄소 부분 재호흡법’의 고시항목 상세내용은 다음과 같다.

표 1.3 비침습적 심기능 측정 (3) 이산화탄소 부분 재호흡법 고시항목상세

<b>보험분류번호</b>	나-722-1나(3)	<b>수가(보험EDI)코드</b>	E7220
<b>급여여부</b>	선별급여 80%	<b>적용일자</b>	2020-10-01
<b>행위명(한글)</b>	비침습적 심기능 측정 [1일당]_기타의 경우_이산화탄소 부분 재호흡법		
<b>행위명(영문)</b>	Noninvasive Cardiac Function Monitoring_Partial Carbon Dioxide Rebreathing		
<b>정의 및 적응증</b>	〈사용목적〉 심박출량 측정 및 감시 〈사용대상〉 지속적으로 심박출량 측정 및 감시가 필요한 기계 환기 중인 성인 환자(단, 심각한 폐 손상이 있거나 폐 내 단락 정도가 심한 환자 제외)		
<b>실시방법</b>	기계 환기 환자의 튜브에 심박출량 센서를 연결한 후 호흡가스 분석을 기반으로 심박출량 수치를 측정함		
<b>주사항</b>	주: 「선별급여 지정 및 실시 등에 관한 기준」 별표2에 따른 요양급여 적용 주: 사용된 1회용 치료재료(심박출량 센서)는 별도 산정하지 아니한다.		
<b>세부사항</b>	신의료기술의 안전성·유효성 평가결과(보건복지부 고시 제2017-31호,2017.02.22.)		

출처: 건강보험심사평가원 요양기관업무포털-고시항목조회

표 1.4 비침습적 심기능 측정-세부인정사항

항목	제목	세부인정사항
나722-1 비침습적 심기능 측정 [1일당]	나722-1나 비침습적 심기능 측정 [1일당] -기타의 경우 급여기준	<p>1. 나722-1나 비침습적 심기능 측정 [1일당]-기타의 경우는 다음과 같이 심박출량 측정이 반드시 필요한 경우에 요양급여를 인정함.</p> <p style="text-align: center;">- 다 음 -</p> <p>가. 급여대상</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 심장수술 환자</li> <li>2) 장기이식수술 환자</li> <li>3) 심박출계수(EF) 0.4(40%) 이하의 환자</li> <li>4) ASA-PS 3 이상의 환자</li> <li>5) 혈액학적으로 불안정하여 모니터링이 필요하다고 판단되는 환자</li> </ol> <p>나. 상기 가.에도 불구하고 나722-1나(3) 비침습적 심기능 측정 [1일당]-기타의 경우 -이산화탄소 부분 재호흡법은 아래와 같은 경우에는 인정하지 아니함.</p> <p style="text-align: center;">- 아 래 -</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 무기폐가 있는 경우</li> <li>2) 외상에 의한 폐출혈이 있는 경우</li> <li>3) PF ratio &lt; 300의 폐손상이 있는 경우</li> <li>4) 35%를 넘는 폐 내 단락 정도가 심한 경우</li> </ol> <p>2. 동일 목적의 검사를 동시에 시행하는 경우에는 주된 검사한 가지만 요양급여 함</p> <p>※ 미국마취과학회 신체상태 분류(ASA-PS)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1급: 전신질환이 없는 건강한 환자</li> <li>2급: 경한 전신질환이 있으나 생리적 기능 장애는 없는 환자 (예: 합병증이 동반되지 않는 고혈압이나 당뇨병, 만성기관지염, 비만, 고령의 환자)</li> <li>3급: 신체 기능의 장애를 초래하는 중한 전신질환을 가진 환자 (예: 잘 조절되지 않는 고혈압, 혈관계 합병증이 동반된 당뇨병, 협심증, 심근경색의 병력, 일상생활에 장애를 줄 정도의 폐질환)</li> <li>4급: 생명에 위협이 되는 전신질환을 가진 환자 (예: 심부전, 불안정형 협심증, 진행된 상태의 폐, 신장 간질환)</li> <li>5급: 수술을 하지 않으면 생존이 불가능한 상태의 환자 (예: 복부 대동맥류의 파열, 폐색전, 뇌압이 상승된 두부외상)</li> <li>6급: 장기 공여를 위해 수술이 예정된 뇌사 환자</li> </ol>

출처: 보건복지부 고시 제2020 - 220호(2020.10.1. 시행)

건강보험요양급여비용 목록에 등재된 비침습적 심기능 측정법과 비교기술과의 고시 및 비용 정보는 다음과 같다.

표 1.5 고시 및 비용 정보 비교

구분	비침습적 심기능 측정					비교기술		
기술명	바이오리엑텐스법	바이오임피던스법	이산화탄소 부분 재호흡법	볼륨 클램프 방식 및 생리적 보정법	맥파전송시간 이용	스완-간즈 카테터법에 의한 검사-심박출량 측정	동맥압에 기초한 심기능 측정	열희석법 보정 후 동맥압에 기초한 심기능 측정
사용대상	지속적으로 심박출량 측정 및 감시가 필요한 환자		지속적으로 심박출량 측정 및 감시가 필요한 기계 환기 중인 성인 환자	지속적인 혈압, 심박출량 측정 및 감시가 필요한 성인 환자	심박출량 측정 및 감시가 필요한 환자	심부전증	-	혈역학적 모니터가 필요한 환자
사용목적	심박출량 측정 및 감시		혈압과 심박출량 측정 및 감시	심박출량 측정 및 감시	심박출량 측정	심박출량 감시	심박출량 감시	심박출량 등을 연속적으로 측정, 감시
실시방법	흉부의 지정된 구역에 4개의 전극을 부착하고 케이블을 연결하여, 심박출량을 측정	스티커형 전극을 체표면에 부착하고 신체적 교류 저항의 변화를 측정하여, 모니터에 나타난 심박출량 수치를 확인	기계 환기 환자의 튜브에 심박출량 센서를 연결한 후 호흡가스 분석을 기반으로 심박출량 수치를 측정	손가락에 커프를 감은 후 손가락과 심장의 높이 차이 및 생리적 특성을 보정하여 상완동맥 혈압 파형으로 재현/산출된 혈압/심박출량 수치를 모니터링	심전도, 산소포화도, 혈압을 측정하여 산출된 맥파전송시간과 심박수를 이용하여 심박출량 수치를 지속적으로 확인	심도자를 동맥과(또는) 정맥에 위치시키고 염색제나 열의 희석정도로 심박출량을 산출	기존에 거치된 동맥 카테터에 센서와 모니터를 연결하여 연속적으로 심박출량을 감시	열희석법으로 보정한 동맥압 파형 분석을 통해 심박출량 등 측정
보험분류번호	나-722-2	나-722-3	나-722-1나(3)	나-722-1나(4)	나-722-1나(5)	나-722나	나722-4	나-722-5-가,나*
보험EDI코드	EZ873	E7226	E7220	E7224	E7235	E7222	E7227	E7228, E7229
급여여부	선별급여 80%					급여	급여	선별급여 50%
상대가치점수	292.89	272.71	652.06	292.89	292.89	240.52	620.8	(가) 1413.26 (나) 240.52
진료비용원가	27,410 (의원) 23,780 (병원)	25,530 (의원) 22,140 (병원)	61,030 (의원) 52,950 (병원)	27,410 (의원) 23,780 (병원)	27,410 (의원) 23,780 (병원)	22,510 (의원) 19,530 (병원)	58,110 (의원) 50,410 (병원)	(가) 132,280 (의원) 114,760 (병원) (나) 22,510 (의원) 19,530 (병원)

\* (가) 카테터 삽입술 당일[카테터 삽입료 포함], (나) 익일 이후[1일당]

1.2.2 국내 의료기술 이용 현황

5가지 비침습적 심기능 측정법에 대한 국내 이용현황은 다음과 같이 확인하였다. 바이오리엑턴스법 및 바이오임피던스법은 지속적으로 사용량이 감소하고 있고, 2020년에 등재된 볼륨 클램프 방식 및 생리적 보정법은 증가추세를 보였다.

표 1.6 비침습적 심기능 측정법의 국내 이용현황

구분	2019	2020	2021	2022	2023
<b>바이오리엑턴스법 (EZ873)</b>					
환자 수(명)	39,614	38,302	16,608	6,703	4,669
총사용량(회)	44,623	42,857	18,481	7,460	5,134
진료금액(천원)	1,007,164	1,002,530	442,252	186,948	129,767
<b>바이오임피던스법 (E7226)</b>					
환자 수(명)	52,013	52,533	26,507	12,139	9,713
총사용량(회)	58,672	65,439	32,574	16,159	13,417
진료금액(천원)	1,260,676	1,317,925	699,100	349,776	296,815
<b>이산화탄소 부분 재호흡법 (E7220), 20년 등재</b>					
환자 수(명)	-	-	-	1	1
총사용량(회)	-	-	-	2	3
진료금액(천원)	-	-	-	114	173
<b>볼륨 클램프 방식 및 생리적 보정법 (E7224), 20년 등재</b>					
환자 수(명)	-	3	144	225	257
총사용량(회)	-	3	157	247	282
진료금액(천원)	-	76	3,852	6,041	6,944
<b>맥파전송시간 이용 (E7235), 23년 등재</b>					
환자 수(명)	-	-	-	-	1,093
총사용량(회)	-	-	-	-	5,679
진료금액(천원)	-	-	-	-	147,546

출처: 보건의료빅데이터개방시스템\_진료행위통계 (2024.6. 기준)

표 1.7 비교기술의 국내 이용현황

구분	2019	2020	2021	2022	2023
<b>스완-간즈 카테터법에 의한 검사-심박출량 측정 (E7222)</b>					
환자수(명)	4,631	3,968	3,870	3,747	4,511
총사용량(회)	7,608	7,276	7,258	7,247	8,952
진료금액(천원)	152,369	152,862	157,277	170,051	214,867
<b>동맥압에 기초한 심기능 측정 (E7227)</b>					
환자수(명)	12,518	28,549	28,842	27,709	37,473
총사용량(회)	16,022	39,157	41,683	42,181	54,336
진료금액(천원)	820,720	1,975,190	2,077,053	2,169,568	2,897,247
<b>열회석법 보정후 동맥압에 기초한 심기능 측정 (E7228+E7229)</b>					
환자수(명)	104	352	455	200	146
총사용량(회)	156	563	758	382	325
진료금액(천원)	12,100	40,201	53,076	18,718	14,812

출처: 보건의료빅데이터개방시스템\_진료행위통계 (2024.6. 기준)

### 1.2.3 국외 보험 및 등재 현황

미국 CPT 코드와 일본 진료보수점수표에서 동 기술과 관련된 내용은 다음과 같다.

표 1.8 국외 보험 및 행위 등재 현황

국가	분류	내용
미국	CPT	93598 Cardiac output measurement(s), thermodilution or other indicator dilution method, performed during cardiac catheterization for the evaluation of congenital heart defects (List separately in addition to code for primary procedure)
일본	진료보수 점수표	D207 <sup>1)</sup> Measurement of body fluid volume, etc. Various tests by cardiac catheterization(a series of tests) 1. Body fluid volume measurement, extracellular fluid volume measurement, 60 point 2. Blood flow measurement, skin perfusion pressure measurement, flap blood flow test, circulating blood flow measurement(by dye delution method), skin surface temperature measurement using electronic transfer type decolorization indicator 100 points 3. Cardiac output measurement, circulation time measurement, circulating blood volume measurement(other than dye dilution method), cerebral circulation measurement(dye dilution method) 150 points D220 <sup>2)</sup> Respiratory and cardiac monitoring, neonatal cardiac and respiratory monitoring, cardioscope (heart scope), cardioscope 50 ~ 150 points D225-2 <sup>3)</sup> Non-invasive continuous blood pressure measurement (per day) 100 points D324 <sup>4)</sup> Vascular endoscopy 2,040 points

1. CPT : Current Procedural Terminology, CPT 2023, 출처: American medical association 2023

2. 출처: 일본 후생성 홈페이지

(<https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-12400000-Hokenkyoku/0000196290.pdf>)

- 1) D207 주) 심박출량 측정 시에 카테터를 삽입한 경우에는 심박출량 측정 가산으로 한다. 시작일에 한해 1,300점을 소정점수에 가산한다. 이 경우 삽입 수반되는 영상 진단 및 검사 비용은 산정되지 않는다.
- 2) D220 주) 1. 심전 곡선 및 심박수를 모두 관찰한 경우에 산정한다.  
 2. 호흡 곡선을 동시에 관찰한 경우의 비용은, 소정 점수에 포함되는 것으로 한다.  
 3. 인공호흡과 동시에 실시한 호흡 심박 감시의 비용은, 인공 호흡의 소정 점수에 포함되는 것으로 한다.  
 4. 동일한 환자에 대해, 구분 번호 1008로 내는 마스크 또는 기관 내 삽관에 의한 폐쇄 순환식 전신 마취와 같은 날에 행해진 경우에 있어서 당해 검사의 비용은, 해당 마취의 비용에 포함된다.
- 3) D225-2 주) 인공호흡과 동시에 수행된 비관혈적 연속혈압 측정 비용은 인공호흡의 소정 점수에 포함되어야 한다.
- 4) D324 주) 1. 혈관내시경검사는 환자 1명당 월 1회에 한하여 산정한다.  
 2. 호흡 심박 감시, 혈액 가스 분석, 심박출량 측정, 맥압 측정, 조영제 주입 수술 및 엑스선 진단의 비용(필름의 비용은 제외한다)은 소정 점수에 포함되는 것으로 한다.

## 1.3 현존하는 의료기술

### 1.3.1 혈역학적 감시

혈역학적 감시(hemodynamic monitoring)란 혈역학적 불안정성을 보이는 중증 환자에서 진단과 치료를 목적으로 혈역학 지표들을 지속적으로 확인하는 것을 말한다(권혜연 등, 2017). 혈압, 맥박수, 중심정맥압(central venous pressure, CVP), 말초산소포화도 등의 기본적인 방법부터 일회박출량변동(stroke volume variation, SVV), 맥박압변동(pulse pressure variation, PPV), 심초음파(echocardiography), 비침습적 생체임피던스(bioimpedance) 등 다양한 방법들이 혈역학적 감시에 이용되고 있다. 최근에는 침습적인 방법보다는 사용하기 간편하고 안전하게 적용할 수 있는 비침습적 방법으로 선호되는 경향을 보인다. 비침습적 감시 방법들의 정확도는 혈역학 감시 장치의 기초라고 할 수 있는 폐동맥 카테터(pulmonary artery catheter, PAC)와 비교하였을 때 유사한 결과를 보이고 있으나 아직 대규모 연구가 부족하고 경증 환자를 대상으로 한 연구가 대부분이어서 중증 환자에서 전적으로 신뢰하기는 어렵다(권혜연 등, 2017). 폐동맥 카테터(PAC)가 Swan and Ganz에 의해 1970년 처음 도입된 이래, 아직까지 PAC에 의한 심박출량 측정방법이 표준검사법으로 여겨지고 있으나, 환자의 임상효과나 예후에 도움을 주는지에 대한 의문 제기과 부정맥, 감염, 폐동맥 파열 등의 합병증 우려로 인해 점차 감소하고 있고, 최근에는 최소침습적 또는 비침습적인 심박출량 측정기술이 개발되어 사용되고 있다(Sangkum L, et al., 2016).

### 1.3.2 비침습적 심박출량 측정법

비침습적 심박출량 측정법에는 초음파 도플러, 맥파분석(pulse wave analysis), 전기생체저항법(Electrical bioimpedance analysis), 맥파전송시간, 부분 이산화탄소 재호흡법이 있으며, 각 기술마다 장단점이 있지만 어떤 기술도 표준검사법인 열희석법을 완전히 대체할 수 없다. 비침습적 심박출량 감시는 환자 결과에 임상적 영향을 미칠 수 있고, 중환자 치료실에서의 임상적 관련성을 평가하기 위해서는 추가 연구가 필요하다(Ruste M, et al., 2023).

- 식도 도플러를 이용한 심박출량 측정은 초음파탐침을 구강 또는 비강으로 식도에 삽입하여 하행대동맥의 혈류량과 혈류속도를 측정한다. 심박출량은 속도-시간 파형과 대동맥 단면적으로 박동별로 결정되며, 신체정보 기반 노모그램으로 결정하거나 초음파 프로브로 직접 측정한다.
- 맥파분석법으로는 볼륨 클램프 방법이나 평활 맥파측정법(applanation tonometry)을 이용하여 센서를 통해 동맥혈압 파형을 지속적이고 비침습적으로 측정한다. 가장 일반적인 센서는 볼륨 클램프 방법(손가락 컵 또는 vascular unloading 방법이라고도 함)을 사용하며, ClearSight(Edwards Lifesciences, Irvine, CA) 또는 CNAP(CNSystems Medizintechnik, Graz, Austria)라는 이름으로 상용화되어 있다. 이 방법은 볼륨 변화로 인해 유도된 적외선 흡광도 변화를 감지할 수 있는 광전 혈류계와 실시간으로 맥박 전체에 걸쳐 혈관 내 압력과 동일한 역압을 적용하여 광전 혈류계 신호를 일정하게 유지하는 손가락 팽창식 컵 사이의 서보 제어(servo control)를 기반으로 한다. 혈관

unloading 상태를 유지하기 위해 팽창식 커프에서 필요한 변화는 수학적 변환 후 동맥 혈압 파형을 제공한다. 동맥혈압 파형을 얻는 또 다른 방법은 동맥 평활 맥파 측정법(T-Line system; TensysMedical, San Diego, CA and DMP-Life; Daeyomedi, Ansan, Gyeongg-do, South Korea)으로, 손목 밴드에 고정된 압력센서가 동맥을 부드럽게 압박하여 특히 알고리즘으로 연조직 관련 손실을 고려한 실시간 동맥 압력 파형을 제공한다.

- 전기 생체 저항 분석법은 교류 전류에 대한 조직의 전기 전도 특성(저항 및 리액턴스의 vector 분석에 해당하는 임피던스)에 기반을 두고 있다. 저항도 고주파 전류는 비침습적인 전극을 사용하여 무통으로 전달된다. 혈액학 감시의 맥락에서 다양한 방법과 모니터들이 존재하며, raw electrical data를 해석하는데 사용되는 수학적 모델과 전극의 개수 또는 위치에 따라 다양하다. 모두 흉부 전기 전도도 특성에서 관찰되는 변화가 심장 주기 동안 대동맥의 혈액량 변화에 따라 달라진다는 가정에 의존한다. 임피던스 심장검사(impedance cardiography)는 기준값에서 흉부 생체 임피던스와, 심장주기 동안 최대 임피던스 변화를 사용한다. 흉부 생체반응도(Thoracic bioelectance)는 리액턴스 변화(또는 위상 이동(phase shifts))에 의존하며, 생체반응도 신호가 비활성 유체(inert fluids)에 덜 의존하기 때문에 신호 대 잡음 비율을 증가시킨다는 이론적 장점이 있다.
- 맥파전송시간은 심장에서 맥파가 분출되어 말단 동맥으로 전파하는데 걸리는 시간으로 정의된다. 임상에서 맥파전송시간은 심전도의 R파와 finger pulse oximeter에서 맥파 시작 사이의 시간을 말한다. 비침습적 esCCO 시스템(Nihon Kohden, Tokyo, Japan)은 맥파 전달 시간과 반비례 관계가 있다고 가정하여 심박출량을 추정한다. 이 기술은 생체 계측 및 인구통계학적 환자 특징, 비침습적 혈압, 심전도 및 맥파 산소계 모니터링이 필요하다.
- 이산화탄소 부분 재호흡법은 Fick 원리의 주요 가정인 질량 보존 법칙을 이용한다. 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)에 적용하면 폐포를 통과하는 혈류는 CO<sub>2</sub> 제거량을 통맥-정맥 CO<sub>2</sub> 함량 차이로 나눈 값과 같다. 비침습적 심폐 기능 모니터링 장치(NICO-sensor, Philips Respironics, Eindhoven, the Netherlands and INNOCOR, Innovision ApS, Denmark)는 짧은 CO<sub>2</sub> 재흡입 기간을 수행하여 이산화탄소 해리 곡선의 기울기, 말단 이산화탄소 농도 및 이산화탄소 정맥 함량을 사용하여 동맥 이산화탄소 함량을 추정한다. 이산화탄소 부분 재호흡법은 다른 비침습적 심박출량 측정법과 마찬가지로 참고표준을 대체할 수 있다고 간주하기에 정확도(accuracy)가 충분하지 않다고 보았다. 현재까지의 근거에서 중증 환자 또는 수술실에서 이산화탄소 부분 재호흡법을 루틴하게 사용하는 것을 뒷받침하는 임상연구는 없었다.

표 1.9 비침습적 심박출량 모니터링 기술에 대한 장점 및 제한점

기술	장비	장점	제한점
식도 도플러	CardioQ (Deltex Medical)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대규모 임상검증</li> <li>• 다중매개변수(multiparametric) 혈액학 자료 제공</li> <li>• 전신 혈관 저항에 대한 낮은 의존성</li> <li>• 비트 간 연속 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 최소 침습적 감시</li> <li>• 몇 가지 가정에 기반한 모델</li> <li>• 신호/잡음비(Signal/noise ratio)</li> </ul>
맥파 파생 PCA (pulse contour analysis)	볼륨 클램프 방식 ClearSight (Edwards) CNAP (CNSystems)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 동맥압의 지속적 감시</li> <li>• 비트 간 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신호의 질(관류장애, 부종, 센서위치 이상, 환자 움직임)에 크게 의존적인 신뢰도</li> <li>• 일부 중재 연구는 손가락 커패시터 기술의 심박출량 감시의 임상적 관심에 도전하였음</li> <li>• Applanation tonometry 관련 가용 데이터가 부족함</li> </ul>
	Aplanation tonometry T-Line (TensysMedical) DMP-Life (Daeyomedi)	-	-
전기 바이오임피던스	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사용이 쉬움</li> <li>• 빠른 액체 변화 측정에 안정적임</li> <li>• 몇몇 임상 연구는 그것의 이득을 뒷받침함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 인공물(artefacts)의 위험 (전기소작, 환자 움직임)</li> <li>• 대동맥 판막질환에서 신뢰할 수 없음</li> </ul>
기관 내 바이오임피던스	ECOM (ECOM Medical)	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 특수한 기관 내 튜브가 필요함</li> </ul>
전기 심장계 (cardiometry)	ICON (Osypka Medical)	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 낮은 정확도</li> <li>• 흉부 체액 함량과 전극 위치의 생리적, 병리적 변화에 민감함</li> </ul>
흉부 바이오리엑턴스	Starling (Cheetah Medical)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 불활성(inert) 액체와 전극 위치에 덜 의존적</li> </ul>	-
맥파전송시간	esCCO (Nihon-Koden)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비침습적 지속적 감시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ECG, 산소포화도 신호 변화에 민감함</li> <li>• 매우 낮은 신뢰도</li> </ul>
이산화탄소 부분 재호흡법	NICO (Philips Respiromics) INNOCOR (Innovision Aps)	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기관 튜브(tracheal tube)가 필요하기 때문에 완전한 비침습적 접근법으로 간주될 수 없음</li> <li>• 비연속적(discontinuous) 감시 (매 3분마다 심박출량 업데이트)</li> <li>• 작은 CO<sub>2</sub> 의 변화에도 심박출량 추정치에 큰 변이를 유도하기 때문에 환자는 안정적인 상태(steady state)에서 환기되어야 함</li> <li>• pulmonary shunt가 있는 폐질환에 민감함</li> <li>• 루틴한 사용(routine use)을 뒷받침하는 임상연구 없음</li> </ul>

출처: Ruste et al., 2023

## 1.4 국내외 임상진료지침

### 1.4.1 유럽 소아 및 신생아 중환자의학회

Singh 등(2020)은 중증 소아 환자의 혈액학적 감시에 대한 유럽 소아 및 신생아 중환자의학회(European Society of Paediatric and Neonatal Intensive Care, ESPNIC) 전문가 합의 권고안을 제시하였다. 비침습적 심박출량 검사와 관련하여, 바이오임피던스, 바이오리액턴스, 맥파전송시간(pulse contour) 및 도플러와 같은 비침습적인 방법을 이용하여 측정할 수 있으나, 소아 중환자에서 절대적인 심박출량을 추정하기에는 정확하지 않다. 그러나 추이를 파악하는데는 도움이 될 수 있다고 언급하였다. 이 근거를 토대로 현재까지 중증 소아환자에서 비침습적 심박출량 방법에 대한 구체적인 권고안을 제시할 수 없다는 것에 동의하였다.

### 1.4.2 유럽 중환자 의학회

Cecceni 등(2014)은 순환 쇼크(circulatory shock) 환자에서 심기능 및 심박출량 감시에 대한 유럽 중환자의학회(The European Society of Intensive Care Medicine) 합의문을 제시하였다. 불응성 쇼크 및 우심실 기능장애가 있는 환자에게 폐동맥 카테터(pulmonary artery catheter, PAC) 사용과, 중증 쇼크환자에서 경심폐 열회색법 또는 동맥파형분석(pulse contour analysis, PCA) 사용을 권고하였다(근거의 질 : 낮음). 또한, 쇼크 환자 대상에서는 유효성 검증이 된 덜 침습적인 심박출량 측정 장비(less invasive devices) 사용에 대해 최적의 진료 기준에서 권고하였다(Ungraded, best practice)

### 1.4.3 스페인 심장 집중치료 및 심폐소생술 워킹 그룹

Ochagavia 등(2014)은 중증 환자의 혈액학적 감시에 대한 스페인 심장 집중치료 및 심폐소생술 워킹 그룹(Cardiological Intensive Care and CPR Working Group of the Spanish Society of Intensive Care and Coronary Units) 권고 합의문을 제시하였다. 지속적인 혈액학적 감시는 치료 시작 후 3-6시간 동안 조직 저관류(tissue hypoperfusion) 증상을 보이는 환자와 질병 과정의 병태생리를 보다 심층적으로 평가해야 하는 환자에게 권장되었다. 비침습적인 시스템은 집중치료실(Intensive Care Unit, ICU) 중환자의 혈액학적 모니터링에 권고되지 않으며, 덜 심각한 상태의 환자 및/또는 병동 입원 환자 또는 응급실 환자에게 사용해야 한다고 약하게 권고하였다. 혈액학적 감시 평가에 관한 알고리즘을 다음의 그림과 같이 제시하였다.

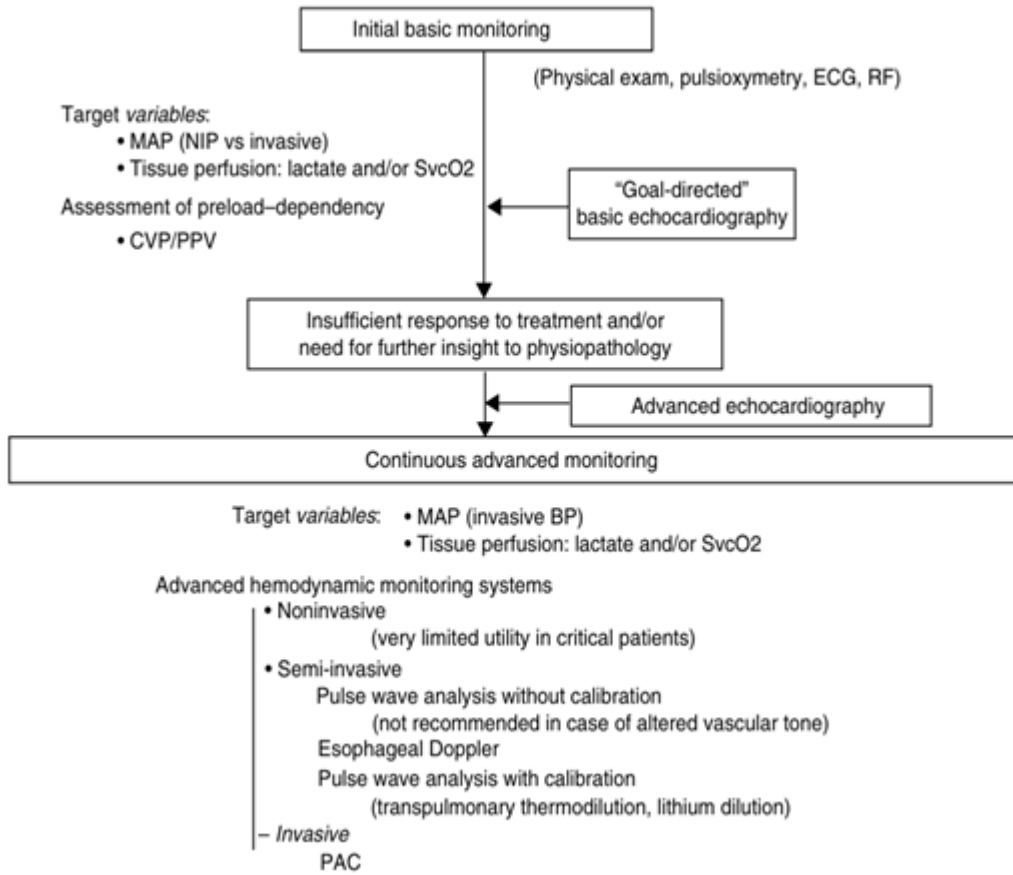


그림 1.5 쇼크 환자에서 심장기능 및 혈액학적 감시 평가에 관한 알고리즘  
(출처 : Ochagavia et al., 2014)

## 1.5 기존 의료기술평가

신의료기술평가 보고서의 주요 검토내용은 다음과 같다.

표 1.10 신의료기술평가(2017) 결과

신의료기술평가보고서 주요 내용
<b>3) 이산화탄소 부분 재호흡법에 의한 비침습적 심박출량 감시법(2017년)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 진단법평가연구 16편에 근거하여 안전성 및 유효성을 평가함</li> <li>• <b>안전성</b>을 보고한 문헌은 없었으나, 동 기술은 기계적 환기를 적용받고 있는 환자의 튜브에 센서를 연결하여 비침습적으로 검사하므로 검사수행에 따른 안전성은 기존의 침습적 방법보다 안전한 것으로 평가함</li> <li>• <b>유효성</b>은 측정정확성(참고표준검사 또는 비교검사와의 일치도, 상관성), 진단정확성, 의료결과에의 영향(검사로 인한 치료방법의 변화 등)으로 평가하고자 하였으나, 진단정확성과 의료결과에의 영향은 선택된 문헌에서 보고되지 않았음. 소위원회에서는 심각한 폐손상이 있거나 폐 내 단락의 정도가 심한 환자를 제외한 기계 환기 중인 성인환자를 대상으로 중재검사를 시행한 결과, 측정정확성(일치도, 상관성)이 임상적으로 허용가능한 범위의 정확도를 가진 검사라고 평가함             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 참고표준과의 일치도(13편) bias -2.3~1.2 L/min, 1SD -0.64~2.71 L/min</li> <li>- 참고표준과의 상관계수(8편) r값, 0.34~0.96</li> <li>- 참고표준과의 결정계수(5편) R<sup>2</sup> 값, 0.38~0.92</li> </ul> </li> <li>• <b>(신의료기술평가위원회 심의결과)</b> 이산화탄소 부분 재호흡법에 의한 비침습적 심박출량 측정법은 심각한 폐손상이 있거나 폐 내 단락의 정도가 심한 환자를 제외한 지속적으로 심박출량 측정 및 감시가 필요한 기계 환기 중인 성인 환자를 대상으로 심박출량 추이를 감시하는데 있어 안전성 및 유효성이 있는 검사임(근거의 수준 C)</li> </ul>

## 1.6 체계적 문헌고찰 및 일차문헌

Joosten 등(2017)의 연구는 상용화된 다양한 비침습적 심박출량 측정법(맥파전송시간(pulse wave transit time, PWTT), 동맥파형분석(non-invasive pulse contour analysis, niPCA)(볼륨클램프방식 및 동맥혈압계 측정법 포함), 흉부전기생체임피던스(바이오임피던스법, 바이오리액턴스법 포함), 이산화탄소 부분 재호흡법 (partial CO<sub>2</sub> rebreathing, CO<sub>2</sub> 포함))의 정확성 및 정밀성에 대한 체계적 문헌고찰 및 메타분석을 수행하였다. 총 37편의 연구가 포함되었으며, 참고표준검사(열희석법으로 측정된 심박출량, Cardiac Output measured by bolus thermodilution)와 비교하여 기기유형별 심박출량의 통합된 평균차이(L/min), 일치한계(95% limit of agreement, LOA), 백분율 오차(percentage error, PE)를 보고하였다. 본 연구에서는 완전한 비침습적 심박출량 측정기기는 백분율 오차가 크기 때문에 열희석법을 대체하여 사용하기 어렵고, 의료의 질 향상에 미치는 역할을 입증하기 위해 추가 연구가 필요하다고 제안하였다.

- 맥파전송시간(5편): 평균차이 0.31L/min; LOA -2.45, 3.07; PE 62%
- 동맥파형분석(9편) : 평균차이 -0.20L/min; LOA -2.32, 1.92; PE 45%
- 이산화탄소 부분 재호흡법(14편): 평균차이 -0.20L/min; LOA -2.40, 2.00; PE 40%
- 흉부전기생체임피던스법(10편): 평균차이 -0.22L/min; LOA -2.43, 1.99; PE 42%
  - 바이오리액턴스법(1편): 평균차이 -0.50L/min; LOA -2.73, 1.73
  - 바이오임피던스법(5편): 평균차이 -0.48L/min (LOA -2.89, 1.93
  - Electrical velocimetry(4편) : 평균차이 -0.02L/min; LOA -2.43, 1.99

Ng 등(2017)의 연구는 선택적 개흉술(elective thoracotomy) 및 측와위에서 일측 폐 환기를 받는 성인 환자(12명) 대상으로 이산화탄소 부분 재호흡법에 의한 비침습적 심박출량(noninvasive partial CO<sub>2</sub> rebreathing, NICO) 측정법의 정확성을 기존의 열희석법(thermodilution, TDCO)과 비교하였다. 3번의 측정시간대로 총 76쌍의 심박출량 데이터를 얻었다. NICO는 TDCO와 비교하여 모든 측정시간대에 걸쳐 심박출량을 과소 측정하는 경향을 보였으며, 평균 차이(bias)는 0.29 L/min(일치한계(LOA) -1.69, 1.43), 백분율 오차는 30.5%였다. 두 검사방법 간의 중등도의 일치도를 보였고, 흉부수술 중에 유용할 수 있음을 시사하였다.

## 2. 평가목적

비침습적 심기능 측정법 [이산화탄소 부분 재호흡법]의 임상적 안전성 및 효과성에 대한 과학적 근거를 제공하고 의료기술의 적정사용 등 정책적 의사결정을 지원하고자 한다.

### 1. 체계적 문헌고찰

#### 1.1 개요

체계적 문헌고찰 수행을 통해 ‘비침습적 심기능 측정법’의 임상적 안전성 및 효과성에 대한 의과학적 근거를 평가하였다. 모든 평가방법은 평가목적에 고려하여 “비침습적 심기능 측정법 검사에 대한 안전성 및 효과성 평가 소위원회(이하, ‘소위원회’라 한다)”의 논의를 거쳐 확정하였다.

#### 1.2 핵심질문

체계적 문헌고찰의 핵심질문 및 평가범위(PICOTS-SD)의 세부내용은 다음과 같다.

- ‘이산화탄소 부분 재호흡법’은 지속적으로 심기능 측정이 필요한 기계 환기 중인 성인 환자에서 심박출량을 측정 및 감시하는데 임상적으로 안전하고 효과적인가?

표 2.1 PICOTS-SD (안)

<b>대상 환자</b>	지속적으로 비침습적 심기능 측정이 필요한 환자	
<b>중재검사</b>	비침습적 심기능 측정법 - [이산화탄소 부분 재호흡법]	
<b>참고표준검사</b>	- 스완-간즈 카테터법에 의한 검사-심박출량 측정(PAC-CO) (열희석법을 이용한 폐동맥 카테터를 이용한 심기능 측정)	
<b>비교검사</b>	- 기 등재행위 • 동맥압에 기초한 심기능 측정(PCA-CO) • 열희석법 보정 후 동맥압에 기초한 심기능 측정(TPTD) - 비침습적 심기능 측정을 수행하지 않은 경우	
<b>결과변수</b>	임상적 안전성 - 검사 관련 부작용 및 이상반응	
	임상적 효과성 - 측정정확성: 참고표준검사와의 일치도(bias, LOA, PE), 상관성 - 의료결과에의 영향: 검사로 인한 치료방법 변화 등 - 진단정확성: 민감도, 특이도 등	
	사회적 가치	해당사항 없음
	경제성	해당사항 없음
<b>추적관찰기간</b>	제한하지 않음	
<b>임상 세팅</b>	제한하지 않음	
<b>연구유형</b>	제한하지 않음	

LOA : Limits Of Agreements, PAC-CO, pulmonary artery catheter-cardiac output,  
PCA-CO: pulse contour analysis-cardiac output, TPTD: transpulmonary thermodilution  
PE : Percentage Error

## 1.3 연구검색

### 1.3.1 국외

국외 연구검색은 3개의 핵심 전자 데이터베이스인 Ovid-MEDLINE, Ovid-EMBASE, EBM Reviews - Cochrane Central Register of Controlled Trials을 이용하였다.(표 2.2).

검색어는 Ovid-MEDLINE에서 활용한 검색어를 기본으로 각 데이터베이스의 특성에 알맞도록 검색전략을 작성하여, MeSH term, 논리연산자, 절단 검색 등의 검색기능을 적절히 활용하였다.

표 2.2 국외 전자 데이터베이스

국외 연구 검색원	URL 주소
Ovid MEDLINE(R) In-Process & Other Non-Indexed Citations and Ovid MEDLINE(R)	<a href="http://ovidsp.tx.ovid.com">http://ovidsp.tx.ovid.com</a>
Ovid EMBASE	<a href="http://ovidsp.tx.ovid.com">http://ovidsp.tx.ovid.com</a>
EBM Reviews - Cochrane Central Register of Controlled Trials	<a href="http://ovidsp.tx.ovid.com">http://ovidsp.tx.ovid.com</a>

### 1.3.2 국내

국내 연구검색은 5개의 핵심 전자 데이터베이스인 KoreaMed, 한국의학논문데이터베이스(KMbase), 한국교육학술정보원(RISS)를 이용하였다. 검색전략은 국외 검색 시 사용한 검색전략을 기본으로 하되 논리연산자, 절단검색 등이 지원되지 않는 데이터베이스의 경우 이를 적절히 수정, 간소화하여 사용하였으며, 각 데이터베이스의 특성에 맞추어 영문 및 국문을 혼용하여 검색하였다.

표 2.3 국내 전자 데이터베이스

국내 연구 검색원	URL 주소
KoreaMed	<a href="http://www.koreamed.org/">http://www.koreamed.org/</a>
한국의학논문데이터베이스(KMBASE)	<a href="http://kmbase.medic.or.kr/">http://kmbase.medic.or.kr/</a>
한국교육학술정보원(RISS)	<a href="http://www.riss.kr/">http://www.riss.kr/</a>

### 1.3.3 검색 전략

사전검색을 통해 주요 개념어와 관련 용어를 최대한 파악하여 국외 검색원의 경우 Ovid-MEDLINE에서 활용한 검색어를 기본으로 각 자료원별 특성에 맞게 검색어를 반영하였다.

### 1.3.4 검색기간 및 출판언어

연구검색은 연도를 제한하지 않았으며, 한국어 및 영어로 출판된 연구로 제한하였다.

### 1.3.5 수기검색

전자검색원의 검색한계를 보완하기 위하여 주요 의료기술평가기관의 웹사이트 및 선행 체계적 문헌고찰 및 연구 검색과정에서 확인된 본 평가 주제와 관련된 참고문헌 등을 토대로, 본 평가의 선택/배제 기준에 적합한 연구를 추가로 검토하여 선정 여부를 판단하였다.

## 1.4 연구선정

연구선택은 검색된 모든 연구들에 대해 두 명의 검토자가 독립적으로 수행하였다. 1차 선택·배제 과정에서는 제목과 초록을 검토하여 본 평가 주제와 관련이 없다고 판단되는 연구를 배제하고, 2차 선택·배제 과정에서는 초록에서 명확하지 않은 연구의 전문을 검토하여 사전에 정한 연구선정 기준에 맞는 연구를 선택하였다. 의견 불일치가 있을 경우, 연구진 및 소위원회 회의를 통해 의견일치를 이루며, 자세한 연구선택/배제 기준은 다음의 표와 같이 설정하였다(표 2.4).

표 2.4 연구의 선정 및 배제 기준

선정기준	배제기준
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 혈액학적 감시가 필요한 환자를 대상으로 한 연구</li> <li>• 이산화탄소 부분 재호흡법 검사를 수행한 연구</li> <li>• 사전에 정의한 의료결과를 1개 이상 보고한 연구</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 인간 대상 연구가 아닌 경우(동물연구 또는 전임상연구)</li> <li>• 건강한 일반인 대상, 분석적 성능검사 결과</li> <li>• 원저가 아닌 연구(중설, letter, comment 등)</li> <li>• 한국어 또는 영어로 출판되지 않은 연구</li> <li>• 회색문헌(초록만 발표된 연구, 학위논문, 기관보고서 등 peer-review를 거치지 않은 경우)</li> <li>• 원문 확보 불가</li> <li>• 중복 출판된 연구: 대상자가 중복되고, 보고된 결과지표도 동일한 연구</li> </ul>

\* 바이오리액티브법, 바이오임피던스법, 이산화탄소 부분 재호흡법, 볼륨 클램프 방식 및 생리적 보정법, 맥파전송시간 이용법

### 1.5 비뿔림위험 평가

비뿔림위험 평가는 두 명 이상의 검토자가 독립적으로 시행하고, 의견불일치 시 논의를 통해 조정하였다. 진단법 평가연구의 비뿔림위험 평가는 Quality assessment of diagnostic accuracy studies-2 (QUADAS-2)을 사용하며, QUADAS-2는 일차 연구에 대한 개별 항목의 질을 평가하기 위한 도구로 환자선택(patient selection), 중재검사(index test), 참고표준검사(reference standard), 연구진행과 시점(flow and timing) 네 가지 주요 영역으로 구성되어 있고 각 영역의 비뿔림위험 및 적용성에 대한 우려를 평가하였다(박동아 등, 2014). 구체적인 평가항목과 기본서식은 [부록 4.1]에 제시하였다.

## 1.6 자료추출

자료추출은 사전에 정해진 서식을 활용하여 두 명의 검토자가 독립적으로 수행하였다. 한 명의 검토자가 우선적으로 자료추출 양식에 따라 연구를 정리한 후 다른 한 명의 검토자가 추출된 결과를 독립적으로 검토하고, 두 검토자가 의견합일을 이루어 완성하였다. 검토과정에서 의견 불일치가 있을 경우 논의를 통해 합의하였다.

자료추출 양식은 검토자가 초안을 작성한 후, 소위원회를 통하여 최종 확정하였다. 주요 자료추출 내용은 연구의 일반적 특성(출판연도, 저자명, 연구국가, 연구설계 등), 연구대상, 증재검사(검사방법, 임계값), 안전성 결과, 효과성 결과 등을 포함하며, 자료추출 양식은 [부록 4.2]에 제시하였다.

## 1.7 자료합성

연구에서 보고하는 의료결과의 자료합성은 양적 분석(quantitative analysis)을 진행하며, 자료합성이 불가능할 경우, 진단정확도, 의료결과에의 영향 등에 대한 질적 검토(qualitative review)를 시행하였다.

## 2. 권고등급 결정

의료기술재평가위원회는 소위원회의 검토 의견을 고려하여 최종 심의를 거쳐 <표 2.5>와 같이 권고등급 체계에 따라 최종 권고등급을 제시하였다.

표 2.5 권고등급 체계 및 정의

권고등급	설명
권고함 (Recommended)	평가대상 의료기술의 임상적 안전성과 효과성 등의 근거가 충분하고, 이를 종합적으로 검토한 결과 현재 임상 상황에서 해당 의료기술의 사용을 권고함
약하게 권고함 (Weakly recommended)	평가대상 의료기술의 임상적 안전성과 효과성 등의 근거가 비교기술 대비 상대적으로 약하거나 유사하여, 현재 임상 상황에서 해당 의료기술의 제한적 사용을 권고함
권고하지 않음 (not recommended)	평가대상 의료기술의 임상적 안전성과 효과성 등의 근거를 종합적으로 검토한 결과, 현재 임상 상황에서 해당 의료기술의 사용을 권고하지 않음
권고보류 (Deferred recommendation)	평가대상 의료기술의 임상적 안전성 또는 효과성 등에 대한 근거가 충분하지 않아, 현재 임상 상황에서 해당 의료기술의 사용에 대한 권고등급을 결정할 수 없음 ※ 근거가 불충분한 사유로는 연구 결과의 질적·양적 부족 문제 등이 있으며, 추가 연구나 데이터가 필요한 부분에 대해 명시할 수 있음

### 1. 연구선정 결과

#### 1.1 연구선정 개요

국내외 연구검색을 통해 총 2,043편(국외 1,816편, 국내 227편)의 연구가 검색되었다. 중복된 연구를 배제한 후 남은 1,322편을 대상으로 선택배제를 진행한 결과, 최종 16편의 연구가 선택되었다. 선택된 연구는 모두 기존 신의료기술평가(2017년) 시 선택된 문헌으로, 신의료기술평가 이후 새롭게 추가된 연구는 없었다. 배제문헌 목록은 [별첨 2]에 제시하였다.

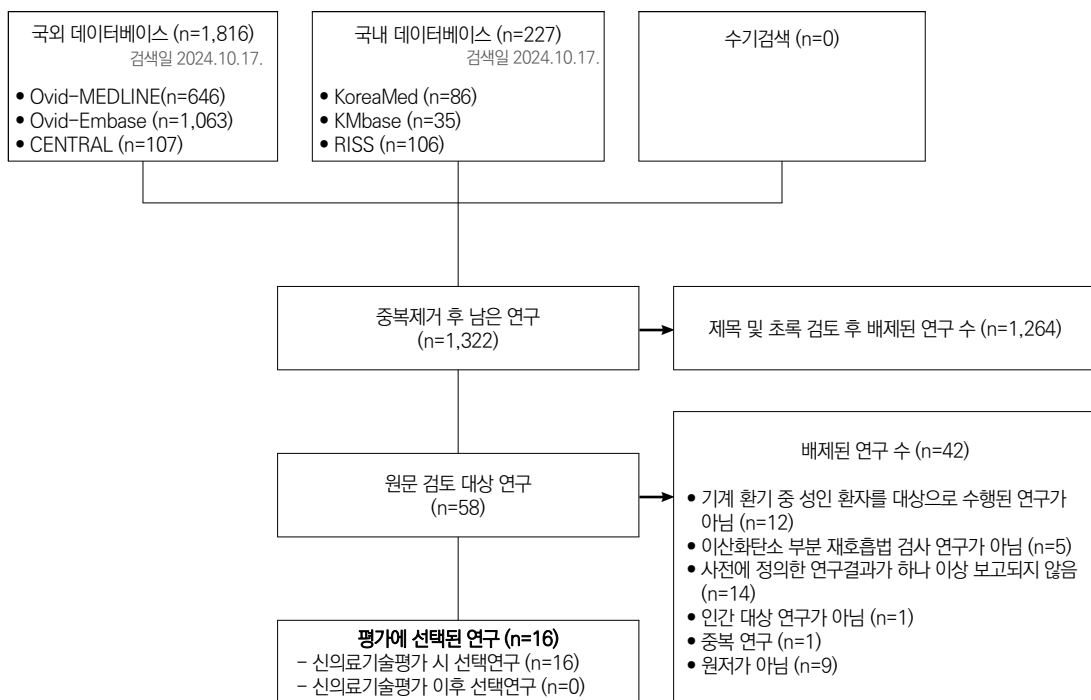


그림 3.1 연구선정 흐름도

## 1.2 선택연구특성

최종 선택된 16편의 연구는 모두 진단법평가연구로 모두 국외 연구였다. 연구수행 국가에 따라 일본 4편, 호주 2편, 스웨덴이 2편이었으며, 그 외 덴마크, 독일, 브라질, 싱가포르, 영국, 이스라엘, 이탈리아, 프랑스가 각 1편으로 나타났다.

연구대상자는 모두 기계 환기 중인 성인 환자를 대상으로 수행되었으며, 세부 질환별로 심장 수술(관상동맥우회술, 대동맥재건술 등) 관련 연구가 9편으로 가장 많았고, 그 외 내외과적 이유로 중환자실을 이용하고 있는 중증환자, 폐손상 환자가 포함되었다. 평균연령은 46~72세였다.

중재검사인 이산화탄소 부분 재호흡법은 모두 NICO 장비를 이용하여 수행되었으며, NICO ver2.0부터 5.0 버전까지 확인되었다. 참고표준검사는 모두 폐동맥 카테터를 이용한 열희석법(Pulmonary Artery Catheter-Cardiac Output, PAC-CO)으로, 구체적인 방법에 따라 간헐적(Bolus) 열희석법 연구가 13편, 연속적 열희석법 연구가 2편, 혼재되어 사용된 연구가 1편이었다.

연구결과는 효과성 결과인 측정정확도만 확인되었고, 측정정확도 중 참고표준검사와의 일치도를 보고한 연구가 14편, 참고표준검사와의 상관성을 보고한 연구가 11편이었다.

선택연구의 기본 특성은 다음 표와 같다.

표 3.1 선택연구의 특성

※ 출판연도 내림차순

#	제1저자	출판 연도	연구수행 국가	연구대상자		중재검사 검사기기(ver)	비교검사	참고표준검사	연구결과
				정의(환자 수)	평균나이				
1	Allardet -Servent	2009	프랑스	(내외과적 이유로) 중환자실에서 기계 환기 중인 환자(20명)	71	NICO <sub>2</sub> monitor (ver3.0)	-	PAC-CO(연속적)	- 참고표준검사와의 일치도 - 참고표준검사와의 상관성
2	Kotake	2009	일본	대동맥재건술 후, 기계 환기 중인 환자(42명)	70, 72	NICO monitor (ver4.2, 5.0)	-	PAC-CO(간헐적)	- 참고표준검사와의 일치도 - 참고표준검사와의 상관성
3	Killick	2008	호주	심장수술(관상동맥우회술, 판막수술) 후, 기계 환기 중인 환자(24명)	65	NICO monitor	-	PAC-CO(간헐적)	- 참고표준검사와의 일치도 - 참고표준검사와의 상관성
4	Ng	2007	싱가포르	개흉술 후, 기계 환기 중인 환자(12명)	61	NICO monitor (ver3.1)	-	PAC-CO(간헐적)	- 참고표준검사와의 일치도
5	Tachibana	2005	일본	심혈관계 수술 후, 기계 환기 중인 환자(13명)	64	NICO <sub>2</sub> monitor (ver4.5, 4.2)	-	PAC-CO(간헐적)	- 참고표준검사와의 일치도
6	Cotter	2004	이스라엘	심장질환 환자 - 관상동맥 카테터 삽입술 중 환자(40명), - 관상동맥우회술 시술 전/중/후 환자(51명), - 울혈성심부전으로 혈관확장제 치료 전/중 환자(31명)	65.4	NICO	-	PAC-CO(간헐적)	- 참고표준검사와의 일치도 - 참고표준검사와의 상관성
7	Rocco	2004	이탈리아	안정된 중증 환자 중, 기계 환기 중인 환자(12명)	56.3	NICO <sub>2</sub> system (ver3.0)	-	PAC-CO(간헐적)	- 참고표준검사와의 일치도 - 참고표준검사와의 상관성
8	Valiatti	2004	브라질	급성 폐손상으로 기계 환기 중인 환자(20명)	46.42	NICO <sub>2</sub> monitor	-	PAC-CO(간헐적)	- 참고표준검사와의 일치도 - 참고표준검사와의 상관성
9	Kotake	2003	일본	대동맥재건술을 받은 후, 기계 환기 중인 환자(28명)	71.7	NICO (ver3.1)	-	PAC-CO(간헐적)	- 참고표준검사와의 일치도 - 참고표준검사와의 상관성
10	Mielck	2003	독일	관상동맥우회술 후, 기계 환기 중인 환자(22명)	62	NICO	PCCO (연속적)	PAC-CO(연속적)	- 참고표준검사와의 일치도 - 비교검사와 일치도 비교
11	Tachibana	2003	일본	심장수술 후, 기계 환기 중인 환자(25명)	63	NICO <sub>2</sub> (ver3.1)	-	PAC-CO(간헐적)	- 참고표준검사와의 일치도 - 참고표준검사와의 상관성
12	Murias	2002	스페인	기계 환기 중인 중증 환자(29명)	62	NICO (ver2.0)	-	PAC-CO(간헐적)	- 참고표준검사와의 일치도 - 참고표준검사와의 상관성

#	제1저자	출판 연도	연구수행 국가	연구대상자		중재검사		비교검사	참고표준검사	연구결과
				정의(환자 수)	평균나이	검사기기(ver)				
13	Odenstedt	2002	스웨덴	기계 환기 중 환자 - 주요 수술 환자(12명), - 중환자실 환자(3명)	62	NICO	-	PAC-CO (간헐적, 지속적)	- 참고표준검사와의 일치도 - 참고표준검사와의 상관성	
14	Nilsson	2001	덴마크	관상동맥우회술 후, 기계 환기 중 환자(30명)	60	NICO <sub>2</sub> (ver3.0)	-	PAC-CO(간헐적)	- 참고표준검사와의 일치도	
15	van Heerden	2000	호주	심장수술 후, 기계 환기 중 환자(12명)	-	NICO monitor	-	PAC-CO(간헐적)	- 참고표준검사와의 상관성	
16	Cowley	1986	영국	심도자술 받은 환자(10명), 심각한 심부전 환자(3명)	58.6	NICO	-	PAC-CO(간헐적)	- 참고표준검사와의 상관성	

CI, cardiac index; NICO, Non-invasive cardiac output; PAC-CO, Pumonary Artery Catheter-Cardiac Output; PCCO, pulse contour continuous cardiac output; SV, stroke volume; TDCO, traditional thermodilution cardiac output

### 1.3 비뚤림위험 평가

QUADAS-2를 이용하여 선택된 연구 16편의 비뚤림위험을 평가하였다. 전반적으로 비뚤림위험이 낮았으나 일부 연구에서 ‘환자 선택(Patient Selection)’ 과 관련하여 연구대상자가 연속적이거나 무작위 표본인지, 부적절한 배제를 피했는지에 대한 언급이 없어 불확실(Unclear)로 평가하였으며, 1개 연구에서 모든 환자가 분석에 포함되지 않고 동일한 표준검사를 받았는지 모호하여 ‘연구진행과 관점(Flow and Timing)’ 영역의 비뚤림위험을 한 등급 낮추어 불확실(Unclear)로 평가하였다.

모든 영역에서 적용가능성에 대한 우려는 낮은 것(Low)으로 보았다.

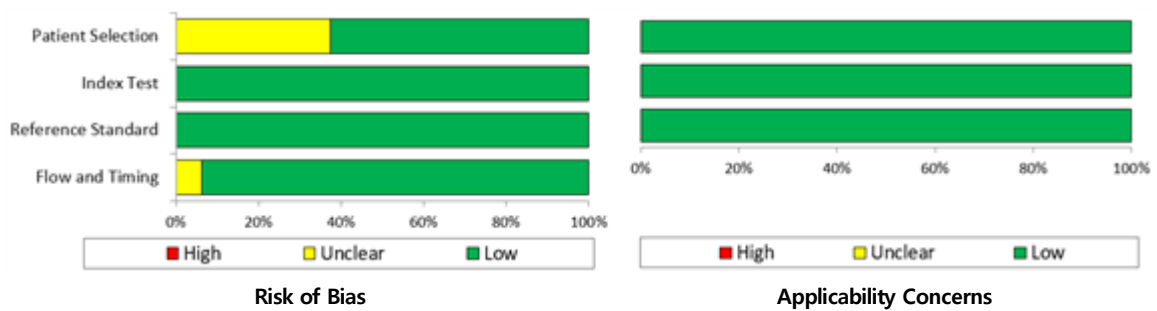


그림 3.2 QUADAS-2 비뚤림위험과 적용가능성에 대한 우려 그래프

	Risk of Bias				Applicability Concerns		
	Patient Selection	Index Test	Reference Standard	Flow and Timing	Patient Selection	Index Test	Reference Standard
Allardet-Servent (2009)	○	○	○	○	○	○	○
Kotake (2009)	⚠	○	○	○	○	○	○
Killick (2008)	○	○	○	○	○	○	○
Ng (2007)	○	○	○	○	○	○	○
Tachibana (2005)	○	○	○	○	○	○	○
Cotter (2004)	⚠	○	○	○	○	○	○
Rocco (2004)	○	○	○	○	○	○	○
Valiatti (2004)	○	○	○	○	○	○	○
Kotake (2003)	⚠	○	○	○	○	○	○
Mielck (2003)	○	○	○	○	○	○	○
Tachibana (2003)	○	○	○	○	○	○	○
Murias (2002)	○	○	○	○	○	○	○
Odenstedt (2002)	⚠	○	○	○	○	○	○
Nilsson (2001)	○	○	○	○	○	○	○
van Heerden (2000)	⚠	○	○	○	○	○	○
Cowley (1986)	⚠	○	○	⚠	○	○	○

✖ 높음     
 ⚠ 불확실     
 ○ 낮음

그림 3.3 QUADAS-2 비뚤림위험과 적용가능성에 대한 우려 요약

## 2. 평가결과

### 2.1 안전성

이산화탄소 부분 재호흡법 검사와 관련된 부작용 및 이상반응을 보고한 연구는 없었다.

### 2.2 효과성 - 측정정확성

이산화탄소 부분 재호흡법 검사의 효과성은 측정정확성(일치도, 상관성), 진단정확성, 의료결과에의 영향(검사로 인한 치료방법 변화 등)으로 평가하고자 하였으나, 진단정확성과 의료결과에의 영향을 보고한 연구는 없어 측정정확성 결과만 확인되었다. 측정정확성은 총 16편의 연구에서 확인되었으며, 참고표준검사와의 상관성, 일치도로 나누어 확인하였다.

#### 2.2.1 참고표준검사와 일치도

참고표준검사와의 일치도는 14편의 연구에서 보고되었으며, 이 중 1편의 연구(Mielck 등, 2003)에서는 참고표준검사와 비교검사(PCCO)의 일치도를 함께 제시하면서 비교하였다.

전체 연구(14편)에서 확인된 이산화탄소 부분 재호흡법(NICO)과 참고표준검사(열희석법)의 심박출량(cardiac output) 일치도는 bias  $-2.30 \sim 0.80$  L/min, 1SD  $-0.64 \sim 2.71$  L/min, 이었다. 백분율 오차(PE)는 22.4~52%였다.

연구대상자의 특성에 따라, 폐손상이 심각하거나(Valiatti 등(2004), 폐손상 점수  $\geq 2.5$ ) 폐 내 단락 정도가 심각한 환자(Rocco 등(2004), PSV 높은 환자)에서의 참고표준검사와의 일치도(bias  $-2.30 \sim -1.75$ , 1SD  $1.21 \sim 2.05$ )는 그렇지 않은 환자보다 낮았으며, 해당 연구결과를 제외한 중재검사와 참고표준검사와의 일치도는 bias  $-1.73 \sim 0.80$  L/min, 1SD  $-0.63 \sim 2.71$ 로 더 좋았다.

Mielck 등(2003)은 이산화탄소 부분 재호흡법(NICO)과 연속적 열희석법의 일치도가 bias  $-0.17$ , 1SD  $1.45$ , 비교검사인 PCCO (continuous pulse contour analysis)와 연속적 열희석법의 일치도가 bias  $-0.12$ , 1SD  $1.33$ 로 나타나, PCCO는 연속적 열희석법과 수술 후 환자 세팅에서 임상 요구사항을 충족하는데 동의하였으나, NICO는 이러한 환자들에게 매우 제한적으로 사용된다고 결론내렸다.

참고표준검사에 따라, 연속적 열희석법과 일치도를 확인한 2편의 일치도는 bias  $-0.12 \sim 0.80$  L/min였다.

표 3.2 참고표준검사와의 심박출량 일치도

제1저자 (출판연도)	연구대상자 정의(명)	일회호흡량 (tidal volume)	호흡률 (respiratory rate)	중재검사 /비교검사	참고표준 (열희석법)	일치도(L/min)				
						bias	precision (1SD)	LOA		PE (%)
								lower	upper	
Allardet-Servent (2009)	(내외과적 이유로) 중환자실 환자(20)	63±04ml/kgPBW	22±3c/min	NICO(3.0)	연속적	0.80	1.21*	-2.10	3.71	36%
Kotake (2009)	대동맥재건술(21)	10ml/kg	-	NICO(4.2)	간헐적	0.18	0.881	-	-	33.4%
	대동맥재건술(21)	10ml/kg	-	NICO(5.0)		0.18	0.831	-	-	33.2%
Killick (2008)	심장수술(24)	-	-	NICO	간헐적	-0.60	0.86	-2.32	1.11	-
	개흉술(12)	8~10ml/kg	35~45mmHg	-0.29		-	-1.69	1.43	-	
Ng (2007)	- TLV 상태			NICO(3.1)	간헐적	-0.12	0.62	-1.36	1.12	30.5%
	- OLV 10분 후					-0.78	1.06	-2.91	1.34	52%
	- OLV 30분 후					0.27	0.58	-1.42	0.88	22.4%
Tachibana (2005)	심혈관계 수술(13)	10ml/kg	10breaths/min	NICO	간헐적	-	-	-	-	-
	- 재호흡 35초					0.02	1.06	-	-	-
	- 재호흡 50초					-0.34	1.08	-	-	-
Cotter (2004)	전체 심장질환(122)	-	-	NICO	간헐적	-0.0009	0.6831	-	-	-
	- 관상동맥카테터 삽입술(40)	-	-			0.0040	-0.6393	-	-	-
	- 관상동맥우회술(51)	-	-			-0.0247	0.7331	-	-	-
	- 울혈성심부전(31)	-	-			0.0271	0.6920	-	-	-
Rocco (2004)	안정된 중증환자(12)	7ml/kg	25breaths/min	NICO(3.0)	간헐적	-1.21	1.51	-	-	-
	- PSV 낮은 환자					0.01	0.41	-	-	-
Valiatti (2004)	- PSV 높은 환자					-2.30	1.21	-	-	-
	급성 폐손상(20)	-	-	NICO	간헐적	-	-	-	-	-
	- 폐손상 점수<2.5	-	-			-0.80	2.71	-	-	-
- 폐손상 점수≥2.5	-	-	-1.75			2.05	-	-	-	
Kotake (2003)	대동맥재건술(28)	10ml/kg	10breaths/min	NICO	간헐적	-0.58	0.90	-	-	-
Tachibana (2003)		12ml/kg	10breaths/min	NICO(3.1)	간헐적	0.09	1.00	-1.91	2.09	-
	심장수술(25)	6ml/kg	20breaths/min			-0.67	0.73	-2.13	0.79	-
		6ml/kg	10breaths/min			-1.73	1.27	-4.27	0.81	29%
Murias (2002)	중증 환자(29)	-	-	NICO(2.0)	간헐적	-0.18	1.39	-	-	-
	- 심박출량<7L/min	-	-			-0.07	0.91	-	-	-
Odenstedt (2002)	주요 수술 환자, 중환자실 환자(15)	-	-	NICO	간헐적	0.04	-	-1.68	1.76	-

제1저자 (출판연도)	연구대상자		중재검사 /비교검사	참고표준 (열회석법)	일치도(L/min)					
	정의(명)	일회호흡량 (tidal volume)			호흡률 (respiratory rate)	bias	precision (1SD)	LOA		PE (%)
								lower	upper	
Nilsson (2001)	관상동맥우회술(30)	-	-	NICO(3.0)	간헐적	-0.16	-	-1.96	1.64	-
Mielck (2003)	관상동맥우회술(22)	-	-	NICO	연속적	-0.17	1.45	-	-	44%
				PCCO		-0.12	1.33	-	-	39%

LOA, Limits of agreement; OLV, one-lung ventilation; PBW, predicted body weight; PCCO, pulse contour continuous cardiac output measurement technique; PE, percentage error; PSV, pulmonary shunt values; TLV, 2-lung ventilation

\*2SD

### 2.2.2 참고표준검사와의 상관성

참고표준검사와의 상관성은 11편의 연구에서 보고되었으며, 상관계수(r)와 결정계수( $R^2$ )로 나누어 확인하였다. 상관계수를 보고한 연구는 7편, 결정계수를 보고한 연구는 5편이었다.

#### 상관계수(r)

전체 연구(7편)에서 이산화탄소 부분 재호흡법(NICO)과 참고표준검사(열희석법)의 상관계수는 0.34~0.96 범위 내에서 보고되었다.

연구대상자의 특성에 따라 하위군 분석을 수행한 2편의 연구가 확인되었다. Valiatti 등(2004)은 폐 손상 정도에 따라 나누어 본 결과, 폐 손상이 심한 환자(폐손상 점수 $\geq 2.5$ ,  $r=0.470$ )보다 낮은(폐손상 점수 $< 2.5$ ,  $r=0.520$ )환자에서 참고표준검사와의 상관성(r)이 높았으며, Tachibana 등(2003)은 일회호흡량(tidal volume)보다 분당환기량(minute ventilation)이 해당 검사의 심박출량 측정정확성에 영향을 미치는 것으로 보고하였다. 해당 2편의 연구를 제외한 상관계수는 0.69~0.96였다.

#### 결정계수( $R^2$ )

전체 연구(5편)에서 이산화탄소 부분 재호흡법(NICO)과 참고표준검사(열희석법)의 결정계수는 0.38~0.90 범위 내에서 보고되었다.

연구대상자의 특성에 따라, Rocco 등(2004)은 폐 내 단락 정도(pulmonary shunt value, PSV)가 높은 환자( $R^2 = 0.380$ )보다 낮은 환자( $R^2 = 0.900$ )에서 참고표준검사와의 상관성이 높게 나타났다.

표 3.3 참고표준검사와의 심박출량 상관성

제1저자 (출판연도)	연구대상자 정의(명)	연구대상자		중재검사	참고표준 (열히석법)	상관성	
		일회호흡량 (tidal volume)	호흡률 (respiratory rate)			계수	p
<b>상관계수(r)</b>							
Killick (2008)	심장수술(24)	-	-	NICO	간헐적	<b>0.752</b>	-
Valiatti (2004)	급성 폐손상(20)	-	-	NICO	간헐적	-	-
	- 폐손상 점수<2.5	-	-			<b>0.520</b>	<0.001
	- 폐손상 점수≥2.5	-	-			<b>0.470</b>	<0.001
Kotake (2003)	대동맥재건술(28)	10ml/kg	10breaths/min	NICO	간헐적	<b>0.800</b>	-
Tachibana (2003)	심장수술(25)	12ml/kg	10breaths/min	NICO(3.1)	간헐적	<b>0.470</b>	-
		6ml/kg	20breaths/min			<b>0.790</b>	-
		6ml/kg	10breaths/min			<b>0.340</b>	-
Odenstedt (2002)	주요 수술 환자, 중환자실 환자(15)	-	-	NICO	간헐적	<b>0.960</b>	-
van Heerden (2000)	심장수술(12)	-	-	NICO	간헐적	<b>0.691</b>	<0.01
Cowley (1986)	심도저술(10), 심각한 심부전(3)	-	-	NICO	간헐적	<b>0.960</b>	<0.01
<b>결정계수(R<sup>2</sup>)</b>							
Allardet -Servent (2009)	(내외과적 이유로) 중환자실 환자(20)	6.3±0.4ml /kg PBW	22±3c/min	NICO(3.0)	연속적	<b>0.420</b>	<0.001
Killick (2008)	심장수술(24)	-	-	NICO	간헐적	<b>0.565</b>	<0.001
Cotter (2004)	전체 심장질환(122)	-	-	NICO	간헐적	<b>0.790</b>	-
	- 관상동맥기체삽입술(40)	-	-			<b>0.770</b>	-
	- 관상동맥우회술(51)	-	-			<b>0.810</b>	-
	- 울혈성심부전(31)	-	-			<b>0.720</b>	-
Rocco (2004)	안정된 중증환자(12)	7ml/kg	25breaths/min	NICO(3.0)	간헐적	<b>0.620</b>	-
	- PSV 낮은 환자					<b>0.900</b>	-
	- PSV 높은 환자					<b>0.380</b>	-
Murias (2002)	중증환자(29)	-	-	NICO(2.0)	간헐적	<b>0.710</b>	<0.001

PBW, predicted body weight; PSV, pulmonary shunt values

표 3.4 심박출량 측정 및 감시에 대한 측정정확도 결과요약표

지표 구분		통합 결과(질적 분석)				
		연구수	범위			
참고표준검사와의 일치도	Bias	CO	전체	14	-2.30 ~ 0.80	
			- 심각한 폐손상 제외	14	-1.73 ~ 0.80	
			- 심장수술 환자	9	-1.73 ~ 0.27	
			- 그 외	5	-2.30 ~ 0.80	
	LOA	CO	전체	Upper	6	0.79 ~ 3.71
				Lower		-4.27 ~ -1.36
			- 심장수술 환자	Upper	4	0.79 ~ 2.09
				Lower		-4.27 ~ -1.36
			- 그 외	Upper	2	1.76 ~ 3.71
				Lower		-2.1 ~ -1.68
	PE	(CO, CI)	전체		5	22.4 ~ 52.0
			- 심장수술 환자		4	22.4 ~ 52.0
- 그 외				1	36	
참고표준검사와의 상관성	상관계수(r)			7	0.34 ~ 0.96	
	결정계수(R <sup>2</sup> )			5	0.38 ~ 0.90	

CO, Cardiac Output; CI, Cardiac Index; LOA, Limits Of Agreement; PE, Percentage Error;  
 CO 단위: L/min. CI 단위: L/min/m<sup>2</sup>, PE 단위: %, TA 단위: %, MA bias 단위: °, Radial LOA 단위: °

## 1. 평가결과 요약

비침습적 심기능 측정 [이산화탄소 부분 재호흡법]은 기계 환기 중인 환자의 튜브에 심박출량 센서를 연결한 후 호흡가스 분석을 기반으로 심박출량 수치를 비침습적으로 측정하는 검사법이다. 지속적으로 심박출량 측정 및 감시가 필요한 기계 환기 중인 성인 환자(단, 심각한 폐 손상이 있거나 폐 내 단락 정도가 심한 환자 제외)를 대상으로 지속적 심기능 측정을 위해 사용된다. 국내에서는 2017년 신의료기술평가를 받은 후, 2020년 선별급여 80% 항목으로 신설되어 현재까지 유지되고 있다. 해당 의료기술은 선별급여 항목의 적합성 평가 주기를 고려하여 내부 모니터링으로 발굴된 안전으로, 2024년 제8차 의료기술재평가위원회(2024.8.9.)에서 재평가 계획서 및 소위원회 구성안에 대한 심의를 받고 재평가를 수행하였다.

본 평가는 비침습적 심기능 측정 [이산화탄소 부분 재호흡법]이 지속적으로 심기능 측정이 필요한 기계 환기 중 성인 환자에서 심박출량을 측정 및 감시하는데 임상적으로 안전하고 효과적인지에 대한 근거를 제공하기 위하여 체계적 문헌고찰을 수행하였고, 핵심질문을 충족하는 16편의 연구를 선정하였다. 선택연구들은 모두 2017년 신의료기술평가 시 포함되었던 연구와 동일하며 이후 추가로 확인된 연구는 없었다.

### 1.1 안전성

이산화탄소 부분 재호흡법에 따른 부작용 및 이상반응을 보고한 연구는 없었다. 그러나 소위원회에서는 해당 의료기술이 기계 환기 중인 환자의 튜브에 센서를 연결하여 비침습적으로 수행되는 검사법으로 검사 수행에 따른 안전성은 기존의 침습적 심박출량 측정 검사보다 안전한 것으로 평가하였다.

### 1.2 효과성

이산화탄소 부분 재호흡법의 효과성은 측정정확성(참고표준검사/비교검사와의 일치도 및 상관성), 진단정확성, 의료결과에의 영향(검사로 인한 치료방법 변화 등)으로 평가하고자 하였으나, 진단정확성과 의료결과에의 영향을 보고한 연구는 없어 측정정확성과 관련된 연구결과만 확인할 수 있었다. 측정정확성은 총 16편의 연구를 중심으로 참고표준검사와의 상관성, 참고표준과의 일치도로 나누어 확인하였다.

이산화탄소 부분 재호흡법과 참고표준검사의 일치도는 14편에서 보고하였다. 참고표준검사와 심박출량 일치도는 bias  $-2.30 \sim 0.80$ L/min, 1SD  $-0.64 \sim 2.71$ L/min, 백분율 오차(percentage error, PE)

22.4~52%였으며, 심각한 폐손상이 있거나 폐 내 단락 정도가 심한 환자 결과를 제외한 경우에 bias -1.73~0.80L/min, 1SD -0.63~2.71L/min로 일치도가 더 좋았다. 1개 연구에서는 해당 검사와 표준검사와의 일치도(bias -0.17, 1SD 1.45)가 비교검사인 PCCO (continuous pulse contour analysis)(bias -0.12, 1SD 1.33)보다 더 낮은 것으로 나타났다.

이산화탄소 부분 재호흡법과 참고표준검사의 상관성은 11편의 연구에서 상관계수와 결정계수로 보고하였다. 해당 검사와 참고표준검사의 상관계수는 0.34~0.96 범위 내에서 보고되었으며, 연구대상자의 특성(폐손상 정도, 자가호흡 여부 및 호흡량 등)에 따른 중재검사의 정확도를 확인한 2편의 연구를 제외한 경우 0.69~0.96였다.

해당 검사와 참고표준검사의 결정계수는 0.38~0.90 범위 내에서 보고되었으며, 심각한 폐손상이 있거나 폐 내 단락 정도가 심한 환자의 결과를 제외한 경우 0.42~0.90이었다.

## 2. 결론 및 권고결정

의료기술재평가 소위원회에서는 현재 평가결과에 근거하여 다음과 같이 제언하였다.

소위원회에서는 비침습적 심기능 측정 [이산화탄소 부분 재호흡법]이 기존 신의료기술평가(2017) 이후 추가 축적된 근거가 없어 동 기술의 안전성 및 효과성을 판단하기 어렵다고 보았다. 참고로 기존 신의료기술평가 시, 동 기술은 기계 환기 중인 환자의 튜브에 센서를 연결하여 비침습적으로 수행되는 검사법으로 기존의 침습적 심박출량 측정 검사보다 안전한 것으로 보았으며, 측정정확성(일치도, 상관성)이 임상적으로 허용가능한 범위의 정확도를 가진 검사라고 평가하였다.

2025년 제3차 의료기술재평가위원회(2025. 3. 14.)는 ‘비침습적 심기능 측정 [이산화탄소 부분 재호흡법]’에 대해 다음과 같이 심의하였다.

의료기술재평가위원회는 임상적 안전성과 효과성의 근거 및 그 외 평가항목 등을 종합적으로 고려하였을 때, 근거가 충분하지 않아 국내 임상상황에서 지속적으로 심박출량 측정 및 감시를 위해 침습적인 기존 검사법을 적용하기 어려운 기계 환기 중인 성인 환자에서 심박출량의 추이를 지속적으로 감시하기 위한 목적으로 이산화탄소 부분 재호흡법 사용을 ‘권고보류’로 심의하였다.



1. 건강보험심사평가원, 요양기관업무포털 홈페이지<의료기준관리<행위평가신청<고시항목조회. [2024년 6월 인용]. <https://biz.hira.or.kr/index.do?sso=ok>
2. 건강보험심사평가원, 요양기관업무포털<심사기준종합서비스<수가정보[인터넷][2024년 6월 13일 조회]. <https://biz.hira.or.kr/index.do?sso=ok>
3. 건강보험심사평가원. 건강보험요양급여비용 2024년 7월판.
1. 권혜연, 장지영, 배금석, 심홍진. 혈액학 감시의 일반적 원칙. J Acute Care Surg 2017;7:2-8.
4. 미국 CPT, American medical association. CPT 2023. Professional edition.
5. 박동아, 황진섭, 이선희, 최원정, 설아람, 오성희, 이자연, 이유경, 이동효, 최슬기. 진단 검사 체계적 문헌고찰. 한국보건의료연구원. 2014.
6. 보건복지부, 신의료기술평가위원회. (HTA-2011-3) 바이오리액턴스 비침습적 심박출량 감시법. 2011.7.27.
7. 보건복지부, 신의료기술평가위원회. (HTA-2014-28) 흉부 전기저항을 이용한 비침습적 심박출량 측정법, 2014. 07.07.
8. 보건복지부, 신의료기술평가위원회. (HTA-2017-37) 볼륨 클램프 방식 및 생리적 보전에 기초한 비침습적 혈압, 심박출량 감시법, 2017.10.19.
9. 보건복지부, 신의료기술평가위원회. (HTA-2017-7) 이산화탄소 부분 재호흡법에 의한 비침습적 심박출량 감시법, 2017.04.28.
10. 보건복지부, 신의료기술평가위원회. (HTA-2020-23) 맥파전송시간을 이용한 비침습적 심박출량 감시법, 2020.05.19.
11. 보건의료빅데이터개방시스템<진료행위통계 [2024년 6월 인용]. <https://opendata.hira.or.kr/op/opc/olapDiagBhvInfoTab1.do>
12. 식품의약품안전처, 의료기기전자민원시스템, 홈페이지. <https://emedi.mfds.go.kr/msismext/emd/min/mainView.do>
13. 요양기관업무포털 홈페이지<업무안내<정보방<상대가치점수<상대가치점수조회. [2024년 6월 인용]. <https://biz.hira.or.kr/index.do?sso=ok>
14. 일본 후생성 홈페이지, <https://www.mhlw.go.jp/index.html>, <https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-12400000-Hokenkyoku/0000196290.pdf>
15. Cecconi M, De Backer D, Antonelli M, Beale R, Barkker J, Hofer C, Jaeschke R, et al., Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring. Task force of the European Society of Intensive Care Medicine. Intensive Care Med (2014) 40:1795-1815.
16. Jootsten A, Desebbe O, Suehiro K et al., Accuracy and precision of non-invasive cardiac output monitoring devices in perioperative medicine: a systematic review and meta-analysis. British Journal of Anaesthesia, Volume 2017; 118: 298-310.
17. Karnik HS, Nerurkar AA, Bawankule N. A Study of Noninvasive Cardiac Output and Other Cardiorespiratory Parameters in Various Neurosurgical Positions. Research & Innovation in Anesthesia,

January-June 2016;1(1):19-24.

18. Ng JM, Chow MY, Ip-Yam PC, et al., Evaluation of Partial Carbon Dioxide Rebreathing Cardiac Output Measurement During Thoracic Surgery. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia* 2007; 21: 655-658.
19. Novamatrix Medical Systems Inc. NICO2 User's Manual (Model 7300). 2001.2.
20. Ochagavia A, Baigorri F, Mesquida J. et al., Hemodynamic monitoring in the critically patient. Recommendations of the Cardiological Intensive Care and CPR Working Group of the Spanish Society of Intensive Care and Coronary Units. *Med Intensiva* 2014; 38: 154-169.
21. PHILIPS Efficia CM120 Patient Monitor Brochure. 2021.
22. Ruste M, Jacquet-Lagrèze M, Fellahi JL. Advantages and limitations of noninvasive devices for cardiac output monitoring: a literature review. *Current Opinion in Critical Care*. 2023 Jun 1;29(3):259-67.
23. Saugel B, Hoppe P, Nicklas JY, Kouz K, Korner A, Hempel JC. et al., Continuous noninvasive pulse wave analysis using finger cuff technologies for arterial blood pressure and cardiac output monitoring in perioperative and intensive care medicine: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Anaesthesia*, 2020; 125 (1): 25-37.
24. Singh Y, Villaescusa JU, da Cruz EM, Tibby SM, Bottari G. et al., Recommendations for hemodynamic monitoring for critically ill children—expert consensus statement issued by the cardiovascular dynamics section of the European Society of Paediatric and Neonatal Intensive Care (ESPNIC). *Critical Care* 2020; 24: 620.

## 1. 의료기술재평가위원회

의료기술재평가위원회는 총 19명의 위원으로 구성되어 있으며, 비침습적 심기능 측정법의 안전성 및 효과성 평가를 위한 의료기술재평가위원회는 총 2회 개최하였다.

### 1.1 2024년 제8차 의료기술재평가위원회

- 회의일시: 2024년 8월 9일
- 회의내용: 평가계획서 및 소위원회 구성(안) 심의

### 1.2 2025년 제3차 의료기술재평가위원회

#### 1.2.1 의료기술재평가위원회분과(서면)

- 회의일시: 2025년 2월 28일 ~ 2025년 3월 6일
- 회의내용: 최종심의 사전검토

#### 1.2.2 의료기술재평가위원회

- 회의일시: 2025년 3월 14일
- 회의내용: 최종심의 및 권고결정

## 2. 소위원회

비침습적 심기능 측정법(①바이오리액터스법, ②바이오임피던스법, ③이산화탄소 부분 재호흡법, ④볼륨 클램프 방식 및 생리적 보정법, ⑤맥파전송시간 이용법)의 소위원회는 순환기내과 3인, 호흡기내과(중환자의학) 2인, 흉부외과 2인, 마취통증의학과 2인, 근거기반의학 1인으로 총 10인의 전문가로 구성하였으며, 소위원회 활동은 총 3회 진행하였다.

### 2.1 제1차 소위원회

- 회의일시: 2024년 9월 30일
- 회의내용: 평가계획서 논의

### 2.2 제2차 소위원회

- 회의일시: 2024년 11월 25일
- 회의내용: 연구선택 결과보고, 자료분석 계획 논의

### 2.3 제3차 소위원회

- 회의일시: 2025년 2월 3일
- 회의내용: 결과 합성, 문헌적 근거 확인 및 결론 방향 등 논의

### 3. 연구검색전략

#### 3.1 국외 데이터베이스

##### 3.1.1 Ovid MEDLINE(R) ALL (1946~ 현재까지)

(검색일: 2024.10.17.)

구분	No.	검색어	검색수
Index test	1	((partial adj2 rebreath*) or (carbon dioxide rebreath*) or (CO <sub>2</sub> rebreath*) or (noninvasive adj2 monitor*)).mp.	4,181
	2	exp cardiac output/ or cardiac output.mp.	124,325
	3	exp Hemodynamic Monitoring/ or Hemodynamic Monitoring.mp.	4,037
	4	2 or 3	127,107
	5	1 and 4	684
동물연구제외	6	Animals/	7,526,572
	7	Humans/	22,294,164
	8	6 not (6 and 7)	5,233,357
종합	9	5 not 8	646
<b>최종</b>			<b>646</b>

##### 3.1.2 Ovid Embase (1974 to 2024 October 15)

(검색일: 2024.10.17.)

구분	No.	검색어	검색수
Index test	1	((partial adj2 rebreath*) or (carbon dioxide rebreath*) or (CO <sub>2</sub> rebreath*) or (noninvasive adj2 monitor*)).mp.	5,528
	2	exp cardiac output/ or cardiac output.mp.	92,779
	3	exp Hemodynamic Monitoring/ or Hemodynamic Monitoring.mp.	84,831
	4	2 or 3	172,605
	5	1 and 4	1,070
동물연구제외	6	Animals/	1,467,250
	7	Humans/	20,694,461
	8	6 not (6 and 7)	1,111,831
종합	9	5 not 8	1,063
<b>최종</b>			<b>1,063</b>

### 3.1.3 EBM Reviews – Cochrane Central Register of Controlled Trials (September 2024)

(검색일: 2024.10.17.)

구분	No.	검색어	검색수
Index test	1	((partial adj2 rebreath*) or (carbon dioxide rebreath*) or (CO <sub>2</sub> rebreath*) or (noninvasive adj2 monitor*)).mp.	428
	2	exp cardiac output/ or cardiac output.mp.	12,461
	3	exp Hemodynamic Monitoring/ or Hemodynamic Monitoring.mp.	1,260
	4	2 or 3	13,542
	5	1 and 4	107
동물연구제외	6	Animals/	19,700
	7	Humans/	892,042
	8	6 not (6 and 7)	3,657
종합	9	5 not 8	107
<b>최종</b>			<b>107</b>

### 3.2 국내 데이터베이스

(검색일: 2024.10.17.)

데이터베이스	연번	검색어	검색결과(건)	비고
KoreaMed	1	noninvasive cardiac output	40	비침습적 심기능 측정 3) 이산화탄소 부분 재호흡법
	2	carbon dioxide rebreathing	11	
	3	CO <sub>2</sub> rebreathing	22	
	4	partial rebreathing	13	
	<b>소계</b>			
한국의학논문 데이터베이스 (KMbase)	1	비침습적 심박출량	11	비침습적 심기능 측정 3) 이산화탄소 부분 재호흡법
	2	noninvasive cardiac output total	7	
	3	((((이산화탄소 재호흡 total) OR (이산화탄소 부분 재호흡 total)) OR (carbon dioxide rebreathing total)) OR (CO <sub>2</sub> rebreathing total)) OR (partial rebreathing total))	17	
<b>소계</b>			<b>35</b>	
한국교육 학술정보원 (RISS)	1	비침습적 심박출량	8	비침습적 심기능 측정 3) 이산화탄소 부분 재호흡법
	2	noninvasive cardiac output	45	
	3	전체 : 이산화탄소 재호흡 <OR> 전체 : 이산화탄소 부분 재호흡 <OR> 전체 : carbon dioxide rebreathing <OR> 전체 : CO <sub>2</sub> rebreathing <OR> 전체 : partial rebreathing	53	
<b>소계</b>			<b>106</b>	

## 4. 비돌림위험 평가 및 자료추출 양식

### 4.1 비돌림위험 평가

#### QUADAS-2

<b>연번(Ref ID):</b>	
<b>1저자(출판연도):</b>	
<b>평가기준</b>	<b>평가결과</b>
<b>영역 1: 환자선택</b>	
<b>비돌림위험</b>	
환자 선택 방법을 기술하십시오:	
1 대상군은 연속적 표본 또는 무작위 표본이었는가?	<input type="checkbox"/> 예 <input type="checkbox"/> 아니오 <input type="checkbox"/> 불확실
2 환자-대조군 설계를 피하였는가?	<input type="checkbox"/> 예 <input type="checkbox"/> 아니오 <input type="checkbox"/> 불확실
3 해당 연구는 부적절한 배제를 피하였는가?	<input type="checkbox"/> 예 <input type="checkbox"/> 아니오 <input type="checkbox"/> 불확실
환자군 선택에서 비돌림이 초래될 수 있는가?	위험: <input type="checkbox"/> 낮음 <input type="checkbox"/> 높음 <input type="checkbox"/> 불확실
<b>적용성에 대한 우려</b>	
포함된 환자군(사전 검사, 증상, 중재검사의 사용목적 그리고 세팅)을 기술하십시오:	
포함된 환자군과 임상상황이 문헌고찰의 핵심질문에 적합하지 않을 우려가 있는가?	우려: <input type="checkbox"/> 낮음 <input type="checkbox"/> 높음 <input type="checkbox"/> 불확실
<b>영역 2: 중재검사(들)</b>	
<b>만약 한 개 이상의 중재검사가 사용된 경우, 각각의 검사에 대해 완성하십시오.</b>	
<b>비돌림위험</b>	
중재검사에 대해 기술하고, 그것이 어떻게 수행되고 해석되었는지 기술하십시오:	
1 중재검사 결과는 참고표준검사 결과에 대한 정보 없이 해석되었는가?	<input type="checkbox"/> 예 <input type="checkbox"/> 아니오 <input type="checkbox"/> 불확실
2 임계치가 사용되었을 경우, 이는 사전에 명시되었는가?	<input type="checkbox"/> 예 <input type="checkbox"/> 아니오 <input type="checkbox"/> 불확실
중재검사의 수행 또는 해석과정에서 비돌림이 초래될 수 있는가?	위험: <input type="checkbox"/> 낮음 <input type="checkbox"/> 높음 <input type="checkbox"/> 불확실
<b>적용성에 대한 우려</b>	
중재검사와 검사의 수행, 결과 해석이 문헌고찰의 핵심질문과 상이할 우려가 있는가?	우려: <input type="checkbox"/> 낮음 <input type="checkbox"/> 높음 <input type="checkbox"/> 불확실
<b>영역 3: 참고표준검사</b>	

**비뚤림위험**

참고표준에 대해 기술하고 그것이 어떻게 수행되고 해석되었는지 기술하십시오:

1 참고표준검사는 대상 질병상태를 정확히 구분할 것 같은가?

- 예
- 아니오
- 불확실

2 참고표준검사 결과는 중재검사 결과에 대한 정보 없이 해석되었는가?

- 예
- 아니오
- 불확실

참고표준검사와 검사의 수행 또는 결과해석에서 비뚤림이 초래될 수 있는가?

- 위험:  낮음  
 높음  
 불확실

**적용성에 대한 우려**

참고표준에 의해 정의된 대상 질병상태가 문헌고찰의 핵심질문에 적합하지 않을 우려가 있는가?

- 우려:  낮음  
 높음  
 불확실

**영역 4: 연구진행과 시점**

**비뚤림위험**

중재검사나 참고표준검사를 받지 않은 환자들 또는 (흐름도에서 언급된) 2X2 표에서 제외된 환자들을 기술하십시오: 중재검사(들)와 참고표준검사 사이의 시간 간격과 그 사이에 시행된 중재법을 기술하십시오:

1 중재검사(들)와 참고표준검사 사이에 적절한 시간 간격이 있었는가?

- 예
- 아니오
- 불확실

2 모든 환자들은 참고표준검사를 받았는가?

- 예
- 아니오
- 불확실

3 환자들은 동일한 참고표준검사를 받았는가?

- 예
- 아니오
- 불확실

4 모든 환자가 분석에 포함되었는가?

- 예
- 아니오
- 불확실

연구진행 과정에서 비뚤림이 초래될 수 있는가?

- 위험:  낮음  
 높음  
 불확실

## 4.2 자료추출 양식

연번(Ref ID)																																																																									
1저자(출판연도)																																																																									
<b>연구특성</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>연구수행 국가:</li> <li>연구설계:</li> <li>연구목적:</li> </ul>																																																																								
<b>연구방법</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>연구대상자                             <ul style="list-style-type: none"> <li>(대상자 특성) 정의, 선택/배제기준, 대상자 수, 검사목적, 동반질환</li> </ul> </li> <li>검사법                             <ul style="list-style-type: none"> <li>(중재/비교) 검사명, 검사방법, 검사장비, 임계값(cutoff), 검사결과 정의</li> <li>참고표준검사</li> </ul> </li> </ul>																																																																								
<b>연구결과-안전성</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>검사 관련 부작용 및 이상반응                             <ul style="list-style-type: none"> <li>결과 기술</li> </ul> </li> </ul>																																																																								
<b>연구결과-효과성</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>진단정확성                             <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2"></th> <th colspan="2">참고표준검사</th> <th rowspan="2">총</th> <th colspan="2" rowspan="2">비교 검사</th> <th colspan="2">참고표준검사</th> <th rowspan="2">총</th> </tr> <tr> <th>D+</th> <th>D-</th> <th>D+</th> <th>D-</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">중재 검사</td> <td>T+</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>T+</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>T-</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>T-</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>총</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>총</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>   <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Sn*(%)</th> <th>Sp*(%)</th> <th>ppv(%)</th> <th>npv(%)</th> <th>FP(%)</th> <th>FN(%)</th> <th>LR+</th> <th>LR-</th> <th>Accuracy* (%)</th> <th>AUC (95% CI)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td></td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> <li>* 가능한 결과값을 추출함                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-참고표준검사와의 일치도, 상관성 등</li> </ul> </li> <li>* 가능한 모든 결과값 추출                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 의료결과에 미치는 영향: 조기진단/조기치료로 인한 이점</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>			참고표준검사		총	비교 검사		참고표준검사		총	D+	D-	D+	D-	중재 검사	T+				T+				T-				T-				총				총					Sn*(%)	Sp*(%)	ppv(%)	npv(%)	FP(%)	FN(%)	LR+	LR-	Accuracy* (%)	AUC (95% CI)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				참고표준검사					총	비교 검사		참고표준검사		총																																																											
		D+	D-	D+	D-																																																																				
중재 검사	T+				T+																																																																				
	T-				T-																																																																				
	총				총																																																																				
	Sn*(%)	Sp*(%)	ppv(%)	npv(%)	FP(%)	FN(%)	LR+	LR-	Accuracy* (%)	AUC (95% CI)																																																															
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																																																															
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																																																															
<b>결론</b>																																																																									
<b>비교</b>	참고사항 등																																																																								

## 5. 최종 선택연구

※ 출판연도 내림차순

연번	서지정보
1	Allardet-Servent JF, J. M.Roch, A.Chiche, L.Guervilly, C.Bouzana, F.Vincent, A.Gainnier, M.Loundou, A.Papazian, L. Pulmonary capillary blood flow and cardiac output measurement by partial carbon dioxide rebreathing in patients with acute respiratory distress syndrome receiving lung protective ventilation. <i>Anesthesiology</i> . 2009;111(5):1085-92.
2	Kotake YY, T.Nagata, H.Suzuki, T.Serita, R.Katori, N.Takeda, J.Shimizu, H. Improved accuracy of cardiac output estimation by the partial CO <sub>2</sub> rebreathing method. <i>Journal of clinical monitoring and computing</i> . 2009;Vol.23(3):149-55p.
3	Killick CJP, W. G. Non-invasive cardiac output measurement using a fast mixing box to measure carbon dioxide elimination. <i>Anaesthesia &amp; Intensive Care</i> . 2008;36(5):665-73.
4	Ng JMC, M. Y.Ip-Yam, P. C.Goh, M. H.Agasthian, T. Evaluation of partial carbon dioxide rebreathing cardiac output measurement during thoracic surgery. <i>Journal of Cardiothoracic &amp; Vascular Anesthesia</i> . 2007;21(5):655-8.
5	Tachibana KI, H.Takeuchi, M.Nishida, T.Takauchi, Y.Nishimura, M. Effects of reduced rebreathing time, in spontaneously breathing patients, on respiratory effort and accuracy in cardiac output measurement when using a partial carbon dioxide rebreathing technique: a prospective observational study. <i>Critical Care (London, England)</i> . 2005;9(5):R569-74.
6	Cotter GM, Y.Kaluski, E.Cohen, A. J.Miller, H.Goor, D.Vered, Z. Accurate, noninvasive continuous monitoring of cardiac output by whole-body electrical bioimpedance. <i>Chest</i> . 2004;125(4):1431-40.
7	Rocco MS, G.Morelli, A.Dell'Utri, D.Porzi, P.Conti, G.Pietropaoli, P. A comparative evaluation of thermodilution and partial CO <sub>2</sub> rebreathing techniques for cardiac output assessment in critically ill patients during assisted ventilation. <i>Intensive Care Medicine</i> . 2004;30(1):82-7.
8	Valiatti JLA, J. L. Comparison between cardiac output values measured by thermodilution and partial carbon dioxide rebreathing in patients with acute lung injury. <i>Sao Paulo medical journal</i> . 2004;Vol.122(6):233-8p.
9	Kotake YM, K.Innami, Y.Shimizu, H.Ueda, T.Morisaki, H.Takeda, J. Performance of noninvasive partial CO <sub>2</sub> rebreathing cardiac output and continuous thermodilution cardiac output in patients undergoing aortic reconstruction surgery. <i>Anesthesiology</i> . 2003;99(2):283-8.
10	Mielck FB, W.Hanekop, G.Tirilomis, T.Hilgers, R.Sonntag, H. Comparison of continuous cardiac output measurements in patients after cardiac surgery. <i>Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia</i> . 2003;17(2):211-6.
11	Tachibana KI, H.Takeuchi, M.Takauchi, Y.Miyano, H.Nishimura, M. Noninvasive cardiac output measurement using partial carbon dioxide rebreathing is less accurate at settings of reduced minute ventilation and when spontaneous breathing is present. <i>Anesthesiology</i> . 2003;Vol.98(4):830-7p.
12	Murias GEV, A.Vatua, S.del Mar Fernandez, M.Solar, H.Ochagavia, A.Fernandez, R.Lopez Aguilar, J.Romero, P. V.Blanch, L. Evaluation of a noninvasive method for cardiac output measurement in critical care patients. <i>Intensive Care Medicine</i> . 2002;28(10):1470-4.
13	Odenstedt HS, O.Lundin, S. Clinical evaluation of a partial CO <sub>2</sub> rebreathing technique for cardiac output monitoring in critically ill patients. <i>Acta Anaesthesiologica Scandinavica</i> . 2002;46(2):152-9.
14	Nilsson LBE, N.Berthelsen, P. G. Lack of agreement between thermodilution and carbon dioxide-rebreathing cardiac output. <i>Acta Anaesthesiologica Scandinavica</i> . 2001;45(6):680-5.

---

연번	서지정보
15	van Heerden PVB, S.Lim, S. I.Weidman, C.Bulsara, M. Clinical evaluation of the non-invasive cardiac output (NICO) monitor in the intensive care unit. <i>Anaesthesia &amp; Intensive Care</i> . 2000;28(4):427-30.
16	Cowley AJS, K.Murphy, D. T.Murphy, J.Hampton, J. R. A non-invasive method for measuring cardiac output: the effect of Christmas lunch. <i>Lancet</i> . 1986;2(8521-22):1422-4.

---

**발행일** 2025. 7. 31.

**발행인** 이재태

**발행처** 한국보건의료연구원

이 책은 한국보건의료연구원에 소유권이 있습니다.  
한국보건의료연구원의 승인 없이 상업적인 목적으로  
사용하거나 판매할 수 없습니다.

---

ISBN : 979-11-7337-074-8