

분산인지 관점의 예비 판독과 근거 확인 단계 인터페이스 프레임워크

3차원 심전도 기반 딥러닝 의사결정지원 시스템 적용 사례

An Interface Framework for Pre-Review and Evidence Checking from a Distributed Cognition Perspective

A Case Study of a 3D ECG-Based Deep Learning Decision Support System

주 저 자 : 이혜민 (Lee, Hye Min) China-Korea International Institute of Visual Arts Research,
Qingdao University of Science and Technology, China
Principal Researcher
hyeminest@gmail.com

<https://doi.org/10.46248/kidrs.2026.1.416>

접수일 2026. 02. 20. / 심사완료일 2026. 02. 23. / 게재확정일 2026. 03. 09. / 게재일 2026. 03. 30.

Abstract

In emergency and critical-care settings, 12-lead ECG interpretation demands rapid decisions, yet the conventional waveform workflow imposes heavy search and integration burden because clinicians must repeatedly compare fragmented leads. This study reframes the bottleneck as a representation and work-distribution problem and proposes a distributed-cognition-grounded pre-review-verification interface framework that externalizes integration into an explicit structure. The framework treats 3D ECG representations as pre-review cues (not final conclusions) and links them to specific leads and time windows in the 12-lead ECG for evidence verification. To stabilize joint use of the two views, it specifies transition rules, fixes semantic anchors that keep meaning criteria consistent across representations (e.g., time windows, lead groups, and scale), and adds trust guardrails that route decisions back to verification to prevent over-reliance on automated cues. The analysis suggests that pre-review aligns attentional focus, verification reclaims judgment through evidence checking, and transition rules and semantic anchors reduce discontinuities and interpretive inconsistencies between representations. This work contributes design knowledge by formalizing an interface framework for safer and more consistent clinical decision-making based on 3D ECG transformation and deep learning-based clinical decision support.

Keyword

Distributed cognition (분산인지), Ecological interface design (생태학적 인터페이스 설계), Clinical decision support system (임상의사결정지원시스템)

요약

응급-중증 환경에서 12채널 심전도 판독은 신속해야 하지만, 분절된 리드 신호를 반복 비교-통합해야 해 탐색-인지부하가 크다. 본 연구는 이를 개인 숙련이 아닌 '표현/작업분담' 문제로 보고, 분산인지 기반의 예비판독-검증 인터페이스 프레임워크를 제안한다. 3D 심전도는 최종 결론이 아니라 예비판독 단서로 제시되며, 단서는 즉시 해당 리드-시간구간의 12채널 파형으로 연결되어 근거 검증을 수행한다. 전이 규칙, 시간창-리드그룹-스케일의 의미 앵커, 과신을 막는 신뢰 가드레일을 포함한다. 동일 입력으로 기존 12채널 단독 흐름과 제안 흐름을 사례 비교해, 예비판독이 탐색을 정렬하고 검증이 근거 확인을 통해 판단을 회수하며 표현 간 단절-해석 불일치를 완화함을 확인했다. 이 연구는 3차원 심전도 변환과 딥러닝 기반 의사결정지원 기술을 전제로, 임상 판단 경험이 안전하고 일관되게 수행되도록 하는 인터페이스 프레임워크를 설계 지식으로 정식화했다는 점에 의의가 있다.

목차

1. 서론

- 1-1. 연구 목적
- 1-2. 연구 방법

2. 연구 배경

- 2-1. 2채널 심전도 판독의 구조적 인지부담
- 2-2. 3차원 심전도 변환 기술과 설계 과제

3. 프레임워크 설계

- 3-1. 프레임워크 정의와 설계 목표
- 3-2. 프레임워크 구성요소

- 3-2-1. 역할 분리
- 3-2-2. 전이 규칙
- 3-2-3. 의미 앵커
- 3-2-4. 신뢰 가드레일
- 3-3. 프레임워크 기반 인터페이스 제안

4. 평가

- 4-1. 검증 목적과 범위
- 4-2. 사례 선정과 비교 조건
- 4-3. 12채널 심전도 단독 판독

- 4-4. 예비 판독 - 근거 확인
- 4-5. 사례 비교
- 4-6. 비교 결과

5. 고찰

6. 결론

참고문헌

1. 서론

응급중증 상황에서 12채널 심전도는 신속한 판단을 요구하지만, 표준 파형 기반 판독은 분절된 열두 개의 신호를 반복적으로 비교하고 통합하며 의미를 구성하도록 한다. 특히 시간 구간과 리드 간 상관관계를 함께 고려해야 할 때, 여러 리드의 변화를 머릿속에서 공간적으로 재구성하는 통합과 탐색이 반복되며, 판독은 직관적 지각보다 해석을 위한 탐색 중심으로 진행되기 쉽다.¹⁾ 그 결과 숙련도와 상황, 피로도 등에 따라 판단 흐름의 일관성이 흔들릴 수 있다. 이 연구는 이러한 병목을 개인의 능력 문제가 아니라 표현 방식과 작업 부담의 문제로 보고, 외부 표상과 분산인지 관점에서 내적 통합 부담을 외적 구조로 이전하는 설계 가능성에 주목한다.²⁾

선행 연구는 표준 12채널 데이터만으로 리드 간 정보를 보간 후 재구성해 3차원 표현으로 변환하고, 이상 탐지 성능을 통해 기술적 타당성을 제시한 바 있다.³⁾ 이는 3차원 심전도가 분절된 변화를 연속적 공간

표면으로 외재화해 임상 단서를 가시화할 수 있음을 시사한다. 다만 성능 지표만으로는 임상 현장에서 이 기술이 판독 경험에 어떻게 기여하는지 설명하기 어렵다. 즉 3차원 표현과 탐지 결과가 예비 판독 결과 제안과 주의 정렬, 근거 확인의 흐름 속에서 어떤 역할로 배치되어야 하는지, 그리고 기존 12채널 판독과 어떤 규칙으로 연결되어야 하는지에 대한 경험 설계 논리가 요구된다.

생태학적 인터페이스 설계는 복잡한 작업 환경에서 사용자가 과제 수행에 필요한 관계를 지각적으로 파악하도록 돕는 원리를 제공하며,⁴⁾ 임상 의사결정지원에서는 자동화에 대한 신뢰가 과신 또는 불신으로 치우치지 않도록 적정 의존을 유도하는 설계가 중요하다.⁵⁾ 의료 분야에서의 인공지능 기반 의사결정지원시스템은 문헌에서도 자동화 편향과 과신으로 인한 검증 생략 문제가 반복적으로 보고되며, 이를 완화하기 위한 전략이 논의되어 왔다.⁶⁾ 또한 신뢰는 높이는 것이 아니라 성능과 맥락에 맞게 조정되어야 안전한 사용으로 이어

1) KristianThygesen, et al., 'Third universal definition of myocardial infarction', *Circulation*, Vol.126, No.16, 2012. pp.2020-2035

2) Zhang, Jiajie, 'The nature of external representations in problem solving', *Cognitive Science*, Vol.21, issue 2, 1997. 04. pp.179-217

3) Heo, Junghyun, et al., 'A novel method for detecting ST segment elevation myocardial infarction on a 12-lead electrocardiogram with a three-dimensional display', *Biomedical Signal Processing and Control*, Vol.56, 2020. 02.

4) Vicente, K. J., Rasmussen, J., 'Ecological interface design: Theoretical foundations', *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol.22, 1992. 08. pp.589-606

5) Lee, J. D., See, K. A., 'Trust in automation: Designing for appropriate reliance', *Human Factors*, Vol.46, 2004. pp.50-80

6) Abdelwanis, Moustafa, et al., 'Exploring the risks of automation bias in healthcare artificial intelligence applications: A Bowtie analysis', *Journal of Safety Science and Resilience*, Vol.5, 2024. 12. pp.460-469

진다.⁷⁾ 따라서 이 연구는 단일 시스템 구현에 머무르지 않고, 기술 성능을 전제로 하면서도 가설과 검증의 역할 분리, 전이 규칙, 의미 앵커, 신뢰 가드레일을 설계 지식으로 정식화하고자 한다.

1-1. 연구의 목적

이 연구는 인공지능의 확률적 추론 결과와 인간의 공간적 지각을 결합하여, 인공지능 결과를 결론이 아니라 가설 신호로 제시하고 원신호 근거로 검증하도록 조직하는 3차원 심전도-12채널 심전도 연결형 진단 경험 프레임워크를 제안한다. 이를 위해 선행 연구에서 검증된 이상 탐지와 3차원 심전도 표현을 임상 의사결정지원 관점에서 재정의하고, 3차원 심전도는 예비 판독 단계에서 주의를 정렬하며, 12채널 심전도는 근거 검증을 수행하도록 역할을 분담한다. 또한 표현 간 이동이 재탐색에 의존하지 않도록 전이 규칙을 명시하고, 시간 구간과 리드 그룹, 스케일 의미가 흔들리지 않도록 의미 앵커를 고정하며, 과신을 억제하는 신뢰 가드레일을 포함해 경험 구조를 정식화한다. 나아가 이러한 설계 변수가 응급 중환자 판독 맥락에서 탐색 부담과 해석 불일치를 줄이고, 검증 중심의 판단 회수를 가능하게 하는 조건을 명확히 하는 데 목적이 있다.

1-2. 연구의 방법

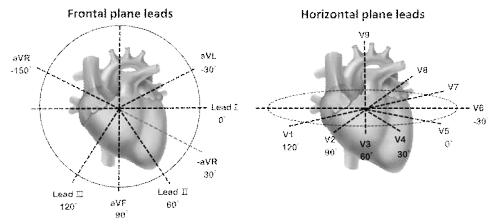
이 연구는 임상 효과를 정량 지표로 단정하기보다, 프레임워크가 진단 행위를 일관된 분석 기준으로 기술하고 적용할 수 있는지를 구조적으로 검토한다. 이를 위해 기존 12채널 중심 흐름과 제안 흐름을 동일한 분석 축에서 비교하는 사례 비교 기반 검증을 수행한다. 비교는 단계 구조, 탐색의 발생 지점과 전이 조건, 확인 경로, 과신과 누락이 발생할 수 있는 위험 지점을 중심으로 진행하며, 대표 사례 워크스를 통해 전이 규칙과 의미 앵커의 일관성과 가드레일의 개입 방식이 흐름 속에서 유지되는지를 점검한다. 산출물은 연결형 진단 경험 프레임워크 정의와 함께 전이 규칙, 의미 앵커, 신뢰 가드레일 명세, 그리고 이를 기존 흐름과 대비해 제시한 사례 분석 결과이다.

7) Hein Minn Tun, et al., 'Trust in Artificial Intelligence-Based Clinical Decision Support Systems Among Health Care Workers: Systematic Review', Journal of Medical Internet Research, Vol.27, 2025, pp.1-18

2. 연구 배경

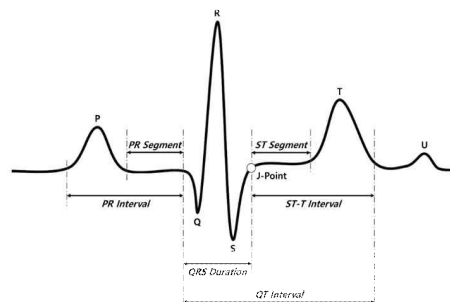
2-1. 12채널 심전도 판독의 구조적 인지부담

12채널 심전도 판독은 단일 파형을 읽는 과업이 아니라, 서로 다른 관찰 관점을 가진 여러 리드를 비교하며 의미를 구성하는 통합 과업이다. 각 리드는 심장의 전기 활동을 다른 방향에서 관찰하므로 동일 시간 구간에서도 변화의 형태와 강도가 다르게 나타날 수 있다. 그림 1과 같이 12채널 심전도는 서로 다른 방향에서 심장의 전기 활동을 관찰하는 리드들로 구성되며, 사지 유도는 전두면, 흉부 유도는 수평면 관점에서 변화를 제공한다. 심혈관계 질환에 따라 심전도 리드에 따라 형태와 강도가 다르게 나타나므로, 판독은 개별 파형 해석을 넘어 리드 간 관계를 공간적으로 통합하는 과업이 된다.



[그림 1] 12채널 심전도의 좌표계

또한 심혈관계 질환은 유형에 따라 핵심 단서가 달라지고, 단서의 의미는 단일 리드가 아니라 여러 리드에 걸친 분포와 관계를 통해 확정되는 경우가 많다. 이 때문에 판독자는 그림 2와 같이 심전도는 다양한 파라미터를 고려해야 하며 심전도 각 리드별 탐색과 질환별 규칙 적용을 교차 수행하게 되며, 분절된 단서를 시간 축과 공간 분포 관점에서 내부적으로 재구성해야 하는 통합 부담이 누적된다.



[그림 2] 심전도의 다양한 파라미터

표 1은 특정 질환 진단 지침을 요약하기 위한 것이 아니라, 12채널 판독 과업에서 통합 부담이 발생하는 지점을 작업 관점에서 정리한 것이다. 이 구조에서는 모든 리드를 동일한 강도로 탐색하기보다, 변화 가능성이 높은 지점을 먼저 포착하도록 주의를 정렬해 주는 외부 단서가 있으면 탐색과 검증의 흐름을 더 안정적으로 조직할 수 있다.

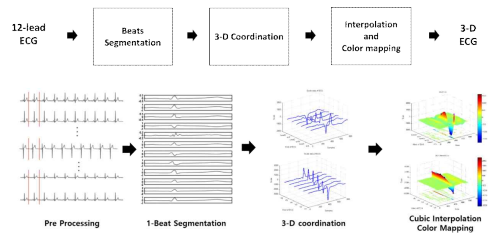
응급중증 환경에서 중요한 것은 정밀 해석 이전에 위험 가능성을 신속히 식별하고, 필요 시 즉시 추가 확인과 조치로 연결하는 것이다. 그러나 12채널 기반 판독은 리드별 탐색과 통합이 전제되므로 시간 압박이 큰 상황에서 탐색이 길어지거나 탐색 순서가 개인에 따라 달라질 수 있다. 다수 리드를 오가며 비교하는 과정은 피로와 주의 분산에 취약하고, 동일 파형이라도 어떤 리드를 먼저 확인했는지에 따라 판단 흐름이 달라질 여지를 남긴다. 따라서 응급 환경에서는 위험 가능성을 먼저 요약해 탐색의 방향을 정렬하고, 이후 12채널 심전도의 원신호 근거 확인으로 판단하는 단계 구조가 필요하다.

[표 1] 12채널 심전도 판독에서의 인지 부담

비교	판독에서 실제로 요구되는 일	통합 부담이 발생하는 이유
리드별 비교	리드마다 변화 양상과 강도를 확인하고 같은 시간 구간에서 대조한다	관찰 방향 차이로 동일 사건도 다르게 보이며, 비교가 누락될수록 작업구역과 추론 부담이 증가한다
리드 그룹 통합	사지유도와 흉부유도의 변화를 묶어 분포를 파악하고 변화 집중 영역을 가능한다	단서가 공간적으로 분절되어 있어 분포를 머릿속에서 조합해야 한다
질환별 단서 해석	허혈-경색, 전도 이상, 부정맥 등 질환 유형에 따라 단서 의미를 달리 적용한다	동일 변화도 맥락에 따라 의미가 달라 규칙 적용과 확인이 반복된다
시간 구간 기반 비교	QRS, ST, T 등 구간별 변화를 리드 간에 맞춰 확인하고 조합한다	리드별 변화와 구간별 변화를 동시에 고려해 탐색 단위가 빠르게 증가한다
관계 추론과 검증	여러 리드 변화의 관계를 확인하고 모순 단서를 재탐색해 검증한다	관계가 외부 표상으로 주어지지 않으면 내부 추론과 재탐색이 반복되어 판단 흐름이 느려진다

2-2. 3차원 심전도 변환 기술과 설계 과제

선행 연구는 그림 3과 같이 표준 12채널 심전도 데이터만으로 리드 간 정보를 보간 후 재구성해 3차원 표현으로 변환하고, 이상 탐지 성능을 통해 접근의 기술적 타당성을 제시하였다. 이는 3차원 심전도가 분절된 변화를 연속적 공간 표면으로 외재화하여 임상 단서를 가시화할 수 있음을 시사한다. 다만 성능 지표만으로는 심전도의 3차원 표현이 임상 현장에서 어떤 방식으로 판단 경험을 조직하는지 설명하기 어렵다. 3차원 심전도의 표현은 결론이 아니라 예비 판독 단계에서 위험 가능성을 빠르게 드러내어 주의를 정렬하는 역할로 배치되고, 최종 판단은 12채널 심전도의 원신호를 기반으로 판단하는 구조가 필요하다. 이 연구는 이 연결이 사용자의 재탐색에 의존하지 않도록 전이 규칙과 의미 기준을 설계 요소로 정식화함으로써, 3차원 심전도와 12채널 심전도가 하나의 판단 과정으로 이어지도록 경험 구조를 재구성하고자 한다.



[그림 3] 12채널 심전도의 3차원 심전도 변환

3. 프레임워크 설계

3-1. 프레임워크 정의와 설계 목표

이 연구는 3차원 심전도 표현을 12채널 판독의 대체물로 보지 않고, 12채널 심전도 판독 과정에서 발생하는 탐색과 통합 부담을 줄이기 위한 보조 표현으로 위치시킨다. 프레임워크의 핵심은 3차원 심전도가 결론을 제시하는 화면이 아니라 예비 판독 결과를 형성하게 하는 신호로 작동하도록 배치하고, 최종 판단은 12채널 심전도 원신호 기반의 근거 확인으로 판단하는 경험 흐름을 구성하는 데 있다.

이를 위해 3차원 심전도는 분절된 리드 변화를 공간적 분포로 외재화하여 이상 가능 영역을 빠르게 지각하게 하고, 사용자의 주의를 전체 리드 스캔이 아니라 핵심 변화 지점으로 정렬한다. 이후 사용자는 12채

널 심전도로 이동하여 대응 리드와 시간 구간을 확인하며 예비 판독 결과를 강화하거나 수정한다. 이때 3차원에서 관찰된 단서가 12채널 심전도의 어느 리드와 어느 구간에 해당하는지 사용자의 재탐색에 의존하지 않도록, 두 표현은 전이 규칙과 의미 기준에 의해 연결된다. 또한 3차원 심전도의 단서가 결론으로 오해되어 검증이 생략되지 않도록, 판단 과정은 신뢰 가이드레일을 통해 검증 중심으로 유지된다.

정리하면 본 프레임워크의 설계 목표는 빠른 지각 기반 예비 판독 형성으로 탐색의 시작점을 이동시키고, 예비 판독과 근거 확인의 역할을 분리하여 판단 흐름을 정돈하며, 전이 규칙과 의미 앵커로 표현 간 연결을 고정하고, 신뢰 가이드레일을 통해 과신 위험을 억제하는데 있다.

3-2. 프레임워크 구성요소

본 프레임워크는 3차원 심전도와 12채널 심전도가 하나의 판단 과정으로 이어지도록 하는 경험 구조의 설계 요소로 구성된다. 각 요소는 기능 목록이 아니라, 사용자가 어떤 순서로 무엇을 보고 확인하며 판단하는지를 고정하는 규칙으로 작동한다. 구성요소는 역할 분리, 전이 규칙, 의미 앵커, 신뢰 가이드레일로 정리된다. 표 2는 3차원 심전도 예비 판독-12채널 심전도 검증 프레임워크의 구성요소를 나타낸다.

[표 2] 예비 판독 - 근거 확인 프레임워크의 구성요소

구분	정의	설계 의도	설계 산출물
역할 분리	3차원 심전도는 예비 판독과 주의 정렬을 담당하고, 12채널 심전도는 근거 확인과 최종 판단을 담당한다	예비 판독과 근거 확인의 혼재를 줄이고 단계 구조를 명확히 한다	화면 흐름, 단계 표시, 검증 유도 안내
전이 규칙	3차원 심전도에서 관찰과 선택이 12채널 심전도의 대응 리드와 시간 구간으로 즉시 연결되도록 규칙화한다	예비 판독에서 근거 확인으로 이어지는 연결을 끊김 없이 만들고 재탐색 비용을 낮춘다	단서 선택 시 자동 포커스, 하이라이트 동기화, 양방향 이동
의미 앵커	시간 구간, 리드 그룹, 스케일과 색상 의미 등 판단 기준을 두 표현에서 동일하게 유지한다	표현이 달라도 같은 의미를 가리키도록 하여 혼란과 학습 부담을 줄인다	동일 구간 표시, 리드 그룹 태깅, 범례와 스케일 고정
신뢰 가이드 레일	3차원 심전도의 예비 판독 결과가 결론으로 오해되지 않도록 제약과 안내를 배치한다.	과신을 억제하고 적정 의존을 유도한다	예비 판독 결과 표기, 불확실성 표시

3-2-1. 역할 분리

역할 분리는 두 표현이 동일한 판단을 서로 다른 방식으로 반복하지 않도록, 각 표현의 책임을 명확히 나누는 원리이다. 3차원 심전도는 이상 가능 영역을 빠르게 드러내어 예비 판독 결과를 도출하고 주의를 정렬하는 채널로 배치된다. 반대로 12채널 심전도는 원 신호 기반 근거 확인을 수행하는 채널로 유지되며, 최종 판단은 이 근거 확인 절차를 통해 회수된다. 이 역할 분리는 탐색과 검증이 한 화면에서 뒤섞이면서 재탐색이 증가하는 문제를 줄이고, 판단이 찾기에 머무르지 않고 확인으로 진행되도록 한다

3-2-2. 전이 규칙

전이 규칙은 3차원 심전도에서의 예비 판독 결과와 12채널 심전도의 근거 확인으로 끊김 없이 이어지도록 만드는 연결 장치이다. 전이 규칙이 없으면 사용자는 3차원에서 얻은 단서를 12채널 심전도에서 다시 찾아야 하고, 이 재탐색이 누적되면 3차원 표현의 장점이 약화된다. 따라서 전이 규칙은 3차원 단서 선택이 12채널의 대응 리드와 시간 구간을 즉시 강조하도록 구성되며, 필요 시 12채널에서 확인 중인 구간이 3차원 분포로 다시 연결되도록 양방향 참조를 허용한다. 다수의 단서가 존재하는 경우에는 확인 순서가 분산되지 않도록 일정 기준에 따라 검증 순서를 정렬해 제공한다.⁸⁾

3-2-3. 의미 앵커

의미 앵커는 두 표현이 동일한 의미 기준을 공유하도록 고정하는 요소이다. 3차원 심전도와 12채널 심전도는 표현 방식이 다르므로, 사용자가 같은 임상 단서를 같은 기준으로 비교하려면 해석의 기준이 흔들리지 않아야 한다. 따라서 시간 구간, 리드 그룹, 스케일과 범례 의미를 두 표현에서 동일하게 유지하여 비교 기준을 안정화하고, 표현 차이가 해석 불일치로 이어지는 상황을 방지한다. 의미 앵커는 전이 규칙과 결합될 때, 두 화면이 '추가 정보의 나열이 아니라 하나의 판단 과정으로 작동하게 만드는 조건이 된다.'⁹⁾

8) 홍은정, 'AR/VR 기반 디지털 트윈을 위한 크로스리얼리티 UX 디자인 프레임워크', 한국디자인리서치, Vol.10, 한국디자인리서치학회, 2025. 09. pp.103-120

9) 오혜윤, '디지털 환경에서의 정보 시각화를 위한 디자인 프레임워크 제안', 디자인웍스, Vol.8, 한국디자인학회, 2025. 03. pp.109-123

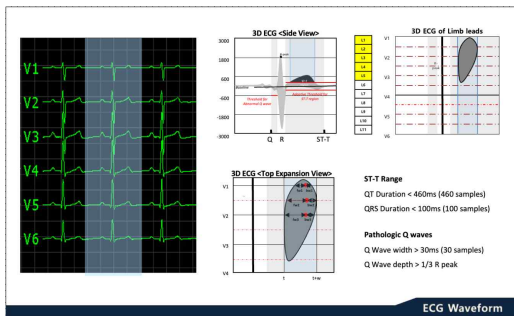
3-2-4. 신뢰 가드레일

신뢰 가드레일은 3차원 단서가 결론으로 오해되어 검증이 생략되는 위험을 억제하기 위한 경험 구조이다. 3차원 심전도 화면에서는 단서가 결론이 아니라 예비 판독임을 명확히 표기하고, 사용자가 12채널 검증 단계로 자연스럽게 이동하도록 흐름을 구성한다. 또한 단서의 강조가 판단 고정으로 이어지지 않도록, 근거 확인을 우회하는 경로가 형성되지 않게 단계적 진행을 설계한다. 불확실성 표시는 사용자를 위축시키기보다 확인 행동을 촉진하는 방식으로 제공되어야 하며, 최종 판단은 12채널 근거 확인을 통해 회수된다는 원리가 경험 전반에서 일관되게 유지되어야 한다.

3-3. 프레임워크 기반 인터페이스 제안

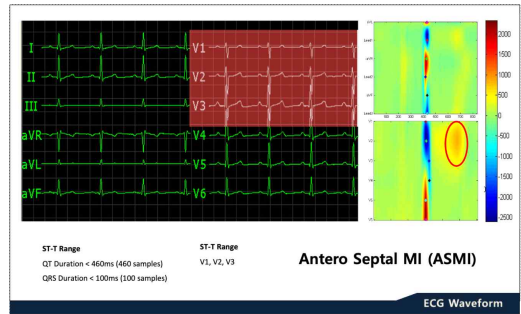
본 절은 3.2에서 정식화한 구성요소가 실제 판독 흐름에서 작동하도록, 이를 반영한 두 개의 핵심 화면을 아티팩트 형태로 제안한다. 화면 설계의 목적은 새로운 진단 기준을 제시하는 데 있지 않으며, 예비 판독과 근거 확인이 분리된 판단 흐름이 끊김 없이 이어지도록 역할과 연결 규칙을 인터페이스에 고정하는 데 있다.

그림 4는 3차원 심전도의 예비 판독 화면의 제안으로 12채널 심전도의 분절된 리드 변화를 3차원 공간적 분포로 외재화하여 이상 가능 영역을 제시하고, 사용자의 주의를 핵심 변화 지점으로 정렬한다.



[그림 4] 3차원 심전도 기반 예비 판독 화면 제안

그림5는 3차원 심전도 예비 판독에서 선택된 단서가 전이 규칙에 의해 12채널 심전도의 대응 리드와 시간 구간으로 연결되며, 사용자는 12채널 심전도의 원 신호 기반으로 근거를 확인해 최종 판단을 한다.



[그림 5] 12채널 심전도 기반 근거 검증 화면 제안

본 장은 3차원 심전도를 예비 판독의 1차 채널로, 12채널 심전도를 근거 검증 채널로 배치하는 연결형 경험 아키텍처를 프레임워크로 정식화하였다. 제안 프레임워크는 역할 분리로 판단 단계의 책임을 명확히 하고, 전이 규칙과 의미 앵커로 표현 간 연결과 비교 기준을 고정하며, 신뢰 가드레일을 통해 과신으로 인한 검증 생략 위험을 억제한다. 또한 이를 반영한 두 개의 핵심 화면을 제안함으로써 프레임워크가 인터페이스 수준에서 어떻게 구체화되는지를 제시하였다. 다음 장에서는 동일 사례를 기준으로 기존 12채널 중심 흐름과 제안 흐름을 비교하여, 제안 프레임워크가 경험 구조의 차이를 일관된 기준으로 기술할 수 있는지를 사례 기반으로 검토한다.

4. 평가

4-1. 검증 목적과 범위

본 장은 제안된 경험 아키텍처가 임상 판독의 정확도나 소요 시간을 통계적으로 개선한다고 결론 내리기 위한 장이 아니다. 이 연구의 목적은 효과의 크기를 측정하기보다, 기존 12채널 단독 판독 흐름과 비교했을 때 제안된 구조가 진단 경험을 어떤 설계 변수로 재조각하는지를 경험 구조 수준에서 확인하는 데 있다. 이를 위해 동일 입력을 대상으로 두 가지 판독 흐름을 구성하고, 프레임워크 요소가 실제 흐름 속에서 일관되게 해석되고 적용될 수 있는지를 사례 비교 방식으로 검토하였다.

이와 같은 사례 기반 검증은 설계 개념이 실제 맥락에 적용될 때 어떤 규칙으로 구체화되는지, 그리고 제안된 구조가 비교 가능한 분석 축으로 기술될 수 있는지를 확인하는 데 적합하다.

4-2. 사례 선정과 비교 조건

본 비교는 동일한 표준 12채널 심전도 입력을 사용하여 수행하였다. 비교의 초점은 질환 진단 지침의 충실도나 성능 지표가 아니라, 판독 경험이 어떤 단계로 구성되고, 탐색과 검증이 어디에서 발생하며, 표현 간 연결이 어떤 규칙으로 유지되는지를 기술하는 데 있다. 따라서 본 장에서 제시하는 비교는 무엇이 더 빠르거나 정확하다는 결론을 도출하기보다, 판단 과정이 어떤 설계 변수로 조직되는지를 가시화하는 데 목적이 있다

4-3. 12채널 심전도 단독 판독

기존의 심전도 판독 흐름은 12채널 심전도를 중심으로 리드별 파형을 순차적으로 탐색하고, 의심 구간을 설정한 뒤 인접 리드와 시간 구간을 반복 비교하며 근거를 축적하는 방식으로 진행된다. 이때 탐색과 근거 확인은 동일한 12채널 표현 공간에서 교차하며, 의심 단서가 발견될 때마다 비교와 재탐색이 반복되는 경향을 갖는다. 또한 리드 그룹 및 시간 구간의 대응 관계는 주로 사용자의 기억과 숙련에 의해 유지되므로, 상황과 피로도에 따라 탐색 순서와 판단 경로가 달라질 여지가 있다.

4-4. 예비 판독 - 근거 확인

제안하는 심전도 판독의 흐름은 3차원 심전도에서 이상 가능 영역을 먼저 지각해 예비 판독하고, 전이 규칙을 통해 해당 단서가 매핑된 12채널의 리드와 시간 구간으로 즉시 이동하여 근거를 확인하는 방식으로 구성된다. 이 구조에서 3차원 심전도는 예비 판독과 주의를 정렬하는 채널로, 12채널 심전도는 원신호 기반 근거 확인 채널로 역할이 분리된다. 또한 표현 간 연결은 사용자의 재탐색에 의존하지 않도록 전이 규칙과 의미 앵커에 의해 고정되며, 예비 판독 결과가 결론으로 오해되지 않도록 검증 단계가 흐름에서 회수되도록 신뢰 가이드라인이 포함된다.

4-5. 사례 비교

사례 비교는 표 3의 Case Validation Matrix를 사용하여 수행하였다. 이 매트릭스는 성능 지표를 비교하기 위한 도구가 아니라, 두 흐름이 구성하는 진단 경험 구조의 차이를 기술하기 위한 분석 틀이다. 분석 항목은 이 연구의 프레임워크 요소인 역할 분리, 전이 규칙, 의미 앵커, 신뢰 가이드라인을 중심으로 구성하되, 기

존 12채널 판독에서 반복적으로 나타나는 병목인 탐색 부담, 통합 부담, 표현 간 단절이 어디에서 발생하는지를 함께 드러내도록 설계하였다.

[표 3] Case Validation Matrix

분석 항목	Case A	Case B
진입점 (주의 시작)	리드 스캔에서 시작	3D 심전도의 이상징후 부위 지각에서 시작
탐색 - 검증 구조	혼재 (스캔-검증 반복)	분리 3D 심전도: 예비판독 12채널 심전도: 근거확인
역할 분리	없음	예비 판독 - 근거 확인 체인
전이 규칙	없음	3D 심전도 징후 부위 - 12채널 심전도 리드/구간 포커스
의미 앵커	사용자 내부 유지	리드 그룹, 시간 구간
신뢰 가이드라인	자동화 과신 이슈는 적음	3D 심전도를 예비판독으로 제한, 12채널 심전도 확인 필수
설명 가능성	추가 정리 필요	요약 정보/로그로 구조화 가능
절차 적합성	기존 절차 그대로	기존 절차에 '보조 지표'로 삽입
인지 부담의 위치	내부 통합 부담	내부 통합 부담을 외부 표상(3D 심전도)로 이동

[표 4] 단계별 인지 처리 비교

단계 (Phase)	기존 해석 (As-Is)	제안 해석 (To-Be)	인지적 변화 (Effect)
탐색 (Search)	12개의 심전도 리드에 따른 순차 스캔	3D 심전도의 색상 및 분산 즉시 지각	주의 집중 비용 감소
통합 (Integrate)	분절 파형을 머릿속에서 재조합(내적 부담)	공간 좌표와 일치된 형상 지각	작업 부담 감소 (외부 표상화)
판단 (Decide)	미세 수치(mm) 계산 및 임계값 비교	AI 확률 및 기존 단서 검증	판단 확신 증가 (예비 판단-근거 확인의 구조화)

또한 경험 구조의 차이를 인지 단계 수준에서 해석하기 위해 판독 과정을 탐색, 통합, 판단의 세 단계로 구분하여 비교하였다. 표 4는 각 단계에서 인지 부담이 어디에 위치하는지, 그리고 제안 흐름이 부담을 어떤 방식으로 재배치하도록 설계되었는지를 설명하기 위한 해석 틀이다.

4-6. 비교 결과

기존 흐름에서 판독은 12개 심전도 리드를 순차 스캔하며 이상 징후를 발견하는 방식으로 시작되며, 주의는 여러 파형에 분산된다. 반면 제안 흐름에서는 3차원 심전도가 이상 가능 영역을 먼저 제시하여 진입점이 축소시킨다. 이는 탐색의 출발점 자체가 재조직되는 차이를 만든다.

또한 기존 흐름에서는 탐색과 근거 확인이 혼재되어 진행되는 반면, 제안 흐름은 예비 판독과 근거 확인을 서로 다른 표현 공간에 배치하여 단계 구조를 분리한다. 전이 규칙은 3차원에서 선택된 단서가 12채널의 대응 리드와 시간 구간으로 즉시 연결되도록 하여 표현 간 단절과 재탐색을 줄이며, 의미 앵커는 시간 구간과 리드 그룹 등 비교 기준이 두 화면에서 동일하게 유지되도록 하여 해석의 흔들림을 완화한다. 마지막으로 신뢰 가이드레일은 3차원 심전도의 판독 결과가 결론으로 오해되지 않도록 제한하고, 12채널 심전도에서 근거 확인을 기반으로 한 판단이 되도록 구성함으로써 과신 위험을 억제한다.

사례 비교 결과, 제안된 프레임워크는 판독의 진입점을 지각 기반 가설 형성으로 이동시키고, 예비 판독과 근거 확인의 역할을 분리하며, 전이 규칙과 의미 앵커로 표현 간 단절을 완화한다. 또한 예비 판독과 근거 확인의 분리는 신뢰 가이드레일을 경험 구조로 정식화하는 기반이 된다. 본 장의 결과는 효과를 단정하기 위한 것이 아니라, 프레임워크가 임상 판단 경험을 조직하는 설계 변수로 작동함을 구조적으로 논증한 것이다.

5. 고찰

이 연구는 딥러닝 기반 이상 탐지와 3차원 심전도 표현을 임상 판단의 대체가 아니라 의사결정지원으로 재정의하고, 3차원 심전도와 12채널 심전도가 결합될 때 판단 경험이 안전하고 이해 가능하게 작동하는 조건을 경험 아키텍처로 정식화하였다. 기존 12채널 판독은 리드 탐색과 리드 간 관계 통합이 반복되기 쉬워 탐색-통합 부담이 커지고, 시간 압박 상황에서는 주의 분산과 재탐색이 누적될 수 있다. 이에 이 연구는 3차원 심전도를 가설 형성과 주의 정렬의 1차 채널로 배치하고, 12채널 심전도를 근거 확인의 2차 채널로 유지하였다. 이 구조는 3차원 심전도 예비 판독 결과가 결론으로 고정되는 것을 방지하고, 최종 판단이 12채널 심전도의 원신호 기반 검증으로 회수되도록 경험

흐름을 설계한다는 점에서 의사결정지원시스템의 안전 사용 조건과 정합한다.

또한 이 연구는 새로운 표현의 도입이 곧바로 유용성으로 이어지지 않음을 전제로, 두 표현이 하나의 판단 과정으로 이어지기 위한 연결 조건을 전이 규칙과 의미 앵커로 명시하였다. 전이 규칙은 3차원 심전도에서 관찰된 단서가 12채널 심전도의 대응 리드와 시간 구간으로 즉시 연결되도록 하여 단서의 재탐색 비용과 표현 간 단절을 줄인다. 의미 앵커는 시간 구간, 리드 그룹, 스케일과 범례 의미를 두 표현에서 동일하게 유지함으로써 해석 불일치를 줄이고 비교 기준을 안정화한다. 아울러 3차원 심전도의 예비 판독 결과가 과신으로 이어지지 않도록 역할을 분리하고, 근거 확인을 흐름에서 필수 단계로 회수하는 가이드레일을 포함하였다. 근거 흔적은 가설 형성에서 근거 확인, 최종 판단으로 이어지는 경로를 요약 가능한 형태로 남겨 재검토를 지원하도록 구성하였다.

사례 비교 기반 검증은 이러한 경험 아키텍처가 임상 효과를 통계적으로 개선한다는 결론을 제시하기 위한 것이 아니라, 기존 흐름과 비교했을 때 판단 경험이 어떤 설계 변수로 재조직되는지, 그리고 전이 규칙과 의미 앵커, 신뢰 가이드레일이 실제 흐름 속에서 일관되게 해석되고 적용될 수 있는지를 구조적으로 논증하기 위한 것이다. 그 결과 제안 구조는 판독의 진입점을 리드 스캔 중심 탐색에서 3차원 심전도 이미지 기반 지각으로 이동시키고, 탐색과 검증의 역할을 분리하며, 가설과 근거의 분리를 통해 신뢰와 설명 가능성을 절차와 산출물 수준에서 조직하는 것으로 정리된다.

이 연구의 한계는 사용자 실험을 통한 정량 효과 측정을 포함하지 않는다는 점과 전이 규칙과 출력 형태가 실제 임상 맥락과 사용자 숙련도에 따라 조정될 필요가 있다는 점에 있다. 또한 기반 기술의 성능은 선행 연구의 결과를 전제로 하며 이 연구에서 재검증하지 않았다. 향후 연구에서는 임상 사용자를 대상으로 한 정성 평가와 제한된 시나리오 기반 정량 평가를 통해 전이 규칙과 의미 앵커가 재탐색을 얼마나 줄이는지, 신뢰 가이드레일이 과신을 어떻게 억제하는지 경험적 근거를 축적할 필요가 있다. 그럼에도 이 연구는 인공지능을 통한 단서가 임상 판단 경험에 편입되는 방식을 성능이 아니라 경험 구조로 다루고, 예비 판독과 근거 확인의 역할 분리, 표현 간 전이 규칙과 의미 앵커, 신뢰 가이드레일의 설계 변수를 제안했다는 점에서 고위험 의사결정지원 환경의 인간 중심 의사결정지원시스템 경험 설계를 위한 재사용 가능한 설계 지식을 제공한다.

6. 결론

이 연구는 선행 연구에서 검증된 3차원 심전도 재구성과 딥러닝 기반 이상 탐지 기술을 임상 판독의 대체 도구가 아니라 의사결정지원으로 재정의하고, 3차원 심전도에서 예비 판독이 12채널 심전도 근거로 연결되는 진단 경험 아키텍처를 제안하였다. 기존 12채널 판독이 리드별 탐색과 리드 간 관계 통합을 사용자의 내부 추론에 의존하며 탐색과 검증이 혼재되기 쉬운 구조라는 점에 주목하고, 이 연구는 3차원 심전도를 빠른 주의 정렬과 예비 판독 결과 도출의 1차 채널로, 12채널 심전도를 원신호 기반 근거 확인의 2차 채널로 배치하여 판단의 단계 구조를 분리하였다.

제안 프레임워크는 두 표현이 하나의 판단 과정으로 끊임 없이 이어지기 위한 조건을 설계 변수로 정식화한다. 구체적으로 3차원에서 관찰된 단서가 12채널의 대응 리드와 시간 구간으로 즉시 연결되도록 전이 규칙을 명시하고, 시간 구간, 리드 그룹, 스케일과 범례 의미가 두 표현에서 동일하게 유지되도록 의미 앵커를 고정하였다. 또한 3차원 단서가 결론으로 오해되어 과신으로 이어지지 않도록 가설과 근거의 역할을 분리하고 근거 확인을 필수 단계하는 신뢰 가드레일을 포함하여 예비 판단, 근거 확인, 판단의 연결 경로를 구성하였다.

이 연구는 사례 비교 기반 검증을 통해 제안된 경험 구조가 기존 판독 흐름과 대비되는 방식으로 진입점, 탐색-검증 구조, 표현 간 단절, 신뢰와 설명 가능성을 어떻게 재조직하는지를 구조적으로 논증하였다. 그 결과 제안 구조는 판독의 시작을 리드 스캔 중심 탐색에서 지각 기반 가설 형성으로 이동시키고, 탐색과 검증을 분리하며, 전이 규칙과 의미 앵커로 표현 간 연속성을 확보하고, 가드레일과 근거 흔적으로 신뢰와 설명 가능성을 절차와 산출물 수준에서 조직하는 경험 아키텍처로 정리된다.

이 연구의 의의는 3차원 심전도 시각화의 유용성을 일반적으로 주장하는 데 그치지 않고, 인공지능 기반 단서가 임상 판단 경험 속에서 안전하고 설득력 있게 사용되기 위한 조건을 재사용 가능한 설계 지식으로 제시했다는 점에 있다. 향후 연구에서는 임상 사용자를 대상으로 한 정성 평가와 제한된 시나리오 기반 정량 평가를 통해 전이 규칙과 의미 앵커의 혼란 감소 효과, 신뢰 가드레일의 과신 억제 효과, 근거 흔적의 커뮤니케이션 기여를 경험적으로 보강하고, 질환군과 업무 맥락에 따른 설계 변수의 최적화를 확장할 필요가 있다.

참고문헌

1. Kristian Thygesen, et al., 'Third universal definition of myocardial infarction', *Circulation*, Vol.126, No.16, pp.2020-2035, American Heart Association, 2012.
2. Zhang, Jiajie, 'The nature of external representations in problem solving', *Cognitive Science*, Vol.21, issue 2, 1997.
3. Heo, Junghyun, et al., 'A novel method for detecting ST segment elevation myocardial infarction on a 12-lead electrocardiogram with a three-dimensional display', *Biomedical Signal Processing and Control*, Vol.56, 2020.
4. Vicente, K. J., Rasmussen, J, 'Ecological interface design: Theoretical foundations', *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol.22, 1992.
5. Lee, J. D., See, K. A, 'Trust in automation: Designing for appropriate reliance', *Human Factors*, Vol.46, 2004.
6. Abdelwanis, Moustafa, et al., 'Exploring the risks of automation bias in healthcare artificial intelligence applications: A Bowtie analysis', *Journal of Safety Science and Resilience*, Vol.5, 2024.
7. Hein Minn Tun, et al., 'Trust in Artificial Intelligence-Based Clinical Decision Support Systems Among Health Care Workers: Systematic Review', *Journal of Medical Internet Research*, e69678, Vol.27, 2025.
8. 홍은정, 'AR/VR 기반 디지털 트윈을 위한 크로스리얼리티 UX 디자인 프레임워크', *한국디자인리서치*, Vol.10, 한국디자인리서치학회, 2025.
9. 오혜윤, '디지털 환경에서의 정보 시각화를 위한 디자인 프레임워크 제안', *디자인웍스*, Vol.8, 한국디자인학회, 2025.