| 학위논문요약서 | | |
|---|---|---|
| **성명** | **학과** | **해당 학위** |
| **이보미** | **기계공학과** | **박사** |
| **학위개요** | ○ 논문제목<br>• 국문제목: PPG신호 기반 혈관 건강 모니터링 방법 및 심혈관계 시뮬레이터와 전이학습을 이용한 임상 데이터 적용<br>• 영문제목: PPG Signal-based Vascular Health Monitoring Method and Its Application to Clinical Data Using Cardiovascular Simulator and Transfer Learning<br>• 논문심사합격일: 2025.12.02<br>• 지도교수: 박용화 교수 | |

주요 내용 요약

**Ⅰ. 연구목적**

심혈관 질환은 전 세계 사망 원인 1위로, 예방을 위해서는 심혈관 건강을 지속적으로 모니터링하는 것이 필수적이다. 특히 혈관 노화에 따른 혈관 경직도 증가는 주요 위험 인자로 알려져 있으며, 대표 지표인 맥파전달속도(Pulse Wave Velocity, PWV)는 혈관 경직도를 정확하게 평가할 수 있다. 그러나 PWV 측정에는 전문 장비가 필요해 일상적인 활용에는 제약이 따른다. 이에 본 연구는 웨어러블 기기에서 손쉽게 획득 가능한 광용적맥파(Photoplethysmography, PPG) 신호를 이용하여 혈관 경직도를 평가하는 방법을 제안한다. 다만 다양한 경직도 조건을 포괄하는 임상 PPG 데이터를 확보하는 과정에서는 변인 통제의 어려움과 데이터 불균형 등의 한계가 존재한다. 이를 해결하기 위해 본 연구는 심혈관계 시뮬레이터와 전이학습을 결합한 새로운 접근법을 제시한다.

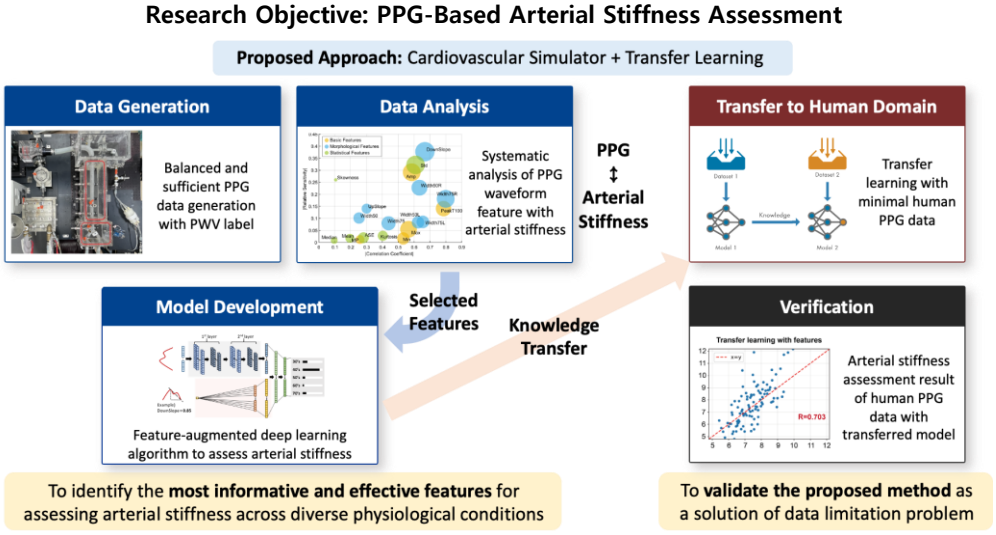


**그림 1 |** 전체 연구의 개요도.

**Ⅱ. 연구내용**

본 연구에서는 임상 데이터의 한계를 보완하기 위해 심혈관계 시뮬레이터를 활용하여 다양한 심혈관 상태에 대한 PPG 신호를 생성·획득하였다. 인체 심혈관계와 유사한 기작으로 작동하는 심혈관계 시뮬레

이터는 심장에서 발생하는 전진파와 말초혈관 및 분기점에서 반사되는 반사파가 합성되어 혈압 파형을 형성하며, 혈관 경직도를 포함한 주요 심혈관 파라미터 변화에 대해서도 인체 생리 반응과 유사한 경향성을 보인다. 본 연구는 이러한 혈압 파형을 기반으로 하면서도 보다 간편하게 측정 가능한 PPG 신호에 주목하여, 총 2,669개의 상이한 심혈관 파라미터 조합에 대한 데이터를 취득하였다. 이후 파형 변화를 정량적으로 분석하기 위해 PPG 파형의 특징점을 포함한 19개 피처를 추출하였고, 피처와 혈관 경직도 간의 상관관계 및 민감도 분석을 통해 혈관 경직도 평가에 핵심적인 피처를 선정하였다. 나아가 선정된 피처를 효과적으로 활용할 수 있도록 피처 강화 CNN 모델을 제안하고, PPG 파형과 피처를 입력으로 혈관 경직도 정보를 추론하도록 학습하였다. 마지막으로 제안 모델을 소량의 임상 데이터로 전이학습하여 실제 임상 데이터에 대한 적용 가능성을 평가하였다.

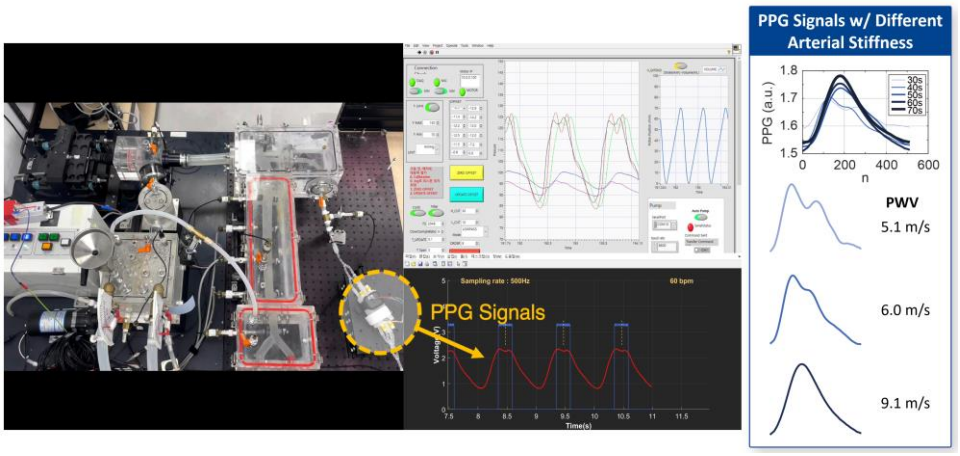


**그림 2 |** 심혈관계 시뮬레이터를 이용한 PPG 신호 취득 과정.

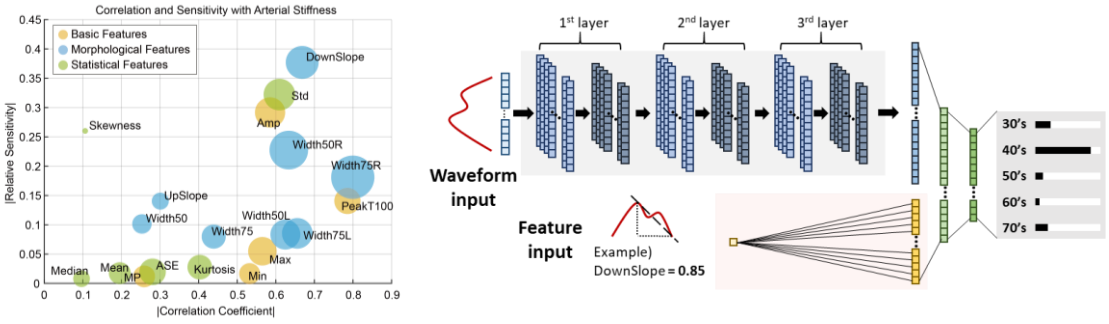


**그림 3 |** PPG 신호 피처 분석 결과 및 피처강화 CNN 구조.

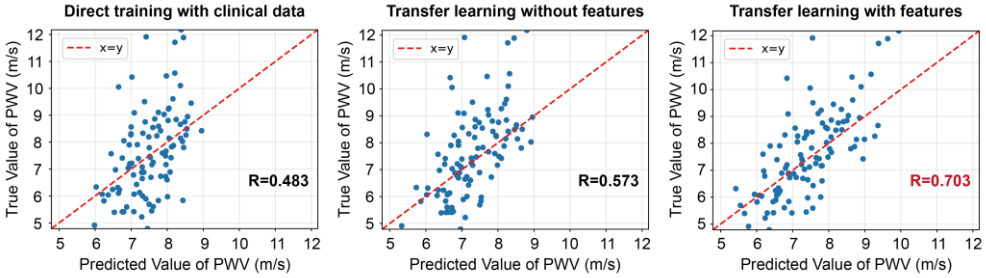


**그림 4 |** 임상 PPG 데이터를 이용한 혈관경직도 (PWV) 평가: 전이학습 전후 결과.