

개인용 체지방 관리를 위한 초음파 - 스마트미러 융합 기술에 대한 연구

손동민*, 이정현*, 류형록*, 윤희철*
단국대학교*

A study on ultrasound-smart mirror fusion technology for personalized body fat management

Dongmin Son*, Jeonghyun Lee*, Hyeongrok Ryu*, Heechul Yoon*
Dankook University*

Abstract - 본 논문에서는 개인용 체지방 관리를 위해 초음파 영상과 스마트미러 인터페이스를 융합한 피하지방 및 근육 두께 측정·시각화 시스템을 제안한다. 기존 생체전기저항분석법(BIA)은 체수분 변화에 민감하고, CT, MRI, DXA와 같은 정밀 진단 장비는 비용과 접근성 측면에서 일상적인 개인 모니터링에 한계가 있다. 제안 시스템은 소형 초음파 장치를 이용하여 복부 초음파 영상을 획득하고, 영상 내 조직 경계를 분석하여 피하지방 두께와 근육 두께를 산출하도록 구성된다. 초기 구현 결과, 복부 초음파 영상에서 조직 경계 표시와 함께 지방 두께, 근육 두께, 지방/근육 비율 등의 분석 결과가 출력됨을 확인하였다. 본 시스템은 일상 환경에서 체지방 변화를 비침습적으로 모니터링할 수 있는 개인 헬스케어 보조 시스템으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서 론

전 세계적으로 비만 인구가 증가하고 개인 건강관리에 대한 관심이 높아지면서, 체지방 상태를 객관적으로 모니터링할 수 있는 기술의 필요성이 커지고 있다. 기존의 체형 관리는 주로 체중계나 BMI(Body Mass Index)를 이용하였으나, 이는 근육량과 수분량의 영향을 함께 받기 때문에 실제 체지방 변화를 정확히 반영하는 데 한계가 있다. 또한 개인용 체지방 분석에 널리 사용되는 생체전기저항분석법(BIA, Bioelectrical Impedance Analysis)은 체수분 상태, 식사 여부, 운동 직후 상태 등에 따라 측정값이 달라질 수 있다.

초음파 영상은 인체 내부 조직의 경계 정보를 비침습적으로 확인할 수 있어 특정 부위의 피하지방층 및 근육층 두께 측정에 활용될 수 있다[1]. 그러나 일반 사용자가 초음파 영상을 직접 해석하고 반복적으로 동일한 위치에서 측정하기는 어렵다. 이에 본 연구에서는 복부 초음파 B-mode 영상에서 피하지방 두께와 근육 두께를 산출하고, 스마트미러 인터페이스를 통해 측정 위치와 분석 결과를 직관적으로 제공하는 초음파-스마트미러 융합 시스템을 제안한다.

2. 본 론

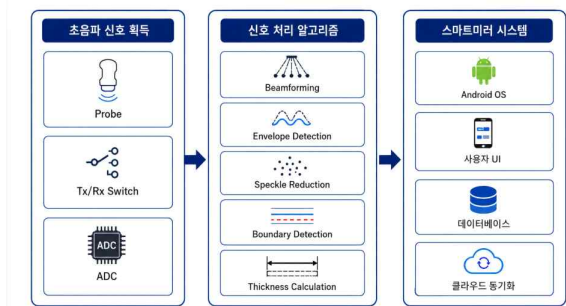
2.1 제안 시스템의 구성

본 연구에서 제안하는 초음파-스마트미러 융합 시스템은 복부 초음파 영상 획득부, 조직 계층 및 두께 측정부, 스마트미러 기반 사용자 인터페이스부로 구성된다. 전체 시스템은 소형 초음파 장치를 이용하여 복부 B-mode 영상을 획득하고, 영상처리 과정을 통해 피부층, 피하지방층, 근육층의 경계 정보를 추출한 뒤, 산출된 두께 정보를 스마트미러 화면에 시각화하는 구조이다.

조직 계층 및 두께 측정부에서는 입력된 초음파 영상에서 관심 영역을 설정하고, 경계 특징 강화 및 조직 계층 분할 과정을 수행한다. 이후 피하지방층과 근육층의 주요 경계면을 검출하고, 각 경계 사이의 픽셀 거리를 초음파 영상의 깊이 정보와 픽셀 간격을 이용하여 mm 단위의 두께 값으로 변환한다. 산출된 결과는 피하지방 두께, 근육 두께, 지방/근육 비율 등의 지표로 확

장될 수 있다.

스마트미러 기반 사용자 인터페이스부는 초음파 영상, 조직 경계 오버레이, 지방 및 근육 두께 결과를 제공하여 사용자가 복부 지방 및 근육 상태를 직관적으로 확인할 수 있도록 한다.



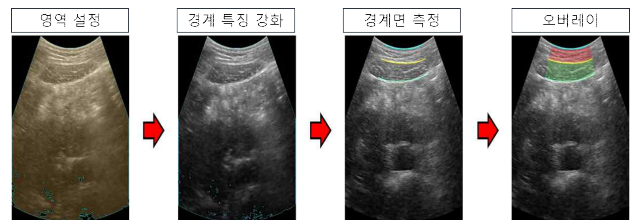
〈그림 1〉 초음파-스마트미러 융합 체지방 분석 시스템 개념도

그림 1은 제안 시스템의 전체 구성을 나타낸다. 시스템은 복부 초음파 영상 획득, 조직 계층 분할 및 두께 산출, 스마트미러 기반 결과 시각화 단계로 구성된다.

2.2 초음파 영상 기반 조직 경계 추출 및 두께 산출

초음파 영상은 인체 내부 조직 간 음향 임피던스 차이에 의해 발생하는 반사 신호를 영상화한 것이다. 피부층, 피하지방층, 근육층은 조직 특성에 따라 서로 다른 영상 밝기와 경계 패턴을 나타내므로, B-mode 영상에서 각 조직의 경계면을 구분할 수 있다. 또한 초음파 영상에서 근육 영역을 설정하고, 전처리 및 명암 대비 강화를 통해 근막과 근육 영역을 분석하는 연구가 수행되어 왔다[2].

본 연구에서는 복부 초음파 영상에서 관심 영역을 설정한 후, 경계 특징 강화를 통해 피부 표면, 피하지방층 하단 경계 및 근육층 경계를 검출한다. 영상처리 과정은 입력 영상 획득, 관심 영역 설정, 경계 특징 강화, 경계면 측정, 결과 오버레이 단계로 구성된다. 검출된 경계 정보를 기반으로 피하지방 두께는 피부 하부 경계부터 근육층 상부 경계까지의 거리로 정의하고, 근육 두께는 근육층의 상부 경계와 하부 경계 사이의 거리로 정의한다. 이후 초음파 영상의 깊이 정보와 픽셀 간격을 이용하여 각 경계 사이의 거리를 실제 mm 단위로 변환한다.



〈그림 2〉 초음파 영상 기반 조직 경계 추출 및 정량화 과정

그림 2는 복부 초음파 영상으로부터 조직 경계를 추출하고 두께를 산출하는 과정을 나타낸다. 입력 영상에서 관심 영역을 설정한 뒤, 영상처리를 통해 조직 경계의 밝기 변화와 에지 특성을 강화한다. 이후 강화된 경계 정보를 기반으로 피부층, 피하지방층 및 근육층의 주요 경계면을 측정하고, 최종 결과를 원본 영상 위에 색상 오버레이 형태로 표시한다.

2.3 스마트미러 기반 시각화 인터페이스

제안 시스템의 스마트미러 인터페이스는 사용자가 측정 과정과 분석 결과를 직관적으로 확인할 수 있도록 구성된다. 측정 전에는 복부 측정 위치와 프로브 방향을 화면에 표시하여 사용자가 동일한 부위를 반복적으로 측정할 수 있도록 안내한다. 측정 후에는 피하지방 두께, 근육 두께, 지방/근육 비율 등의 분석 결과를 수치로 제공하고, 측정 위치 및 결과 영역을 시각적으로 표시한다.

또한 스마트미러 인터페이스는 일반 사용자가 초음파 영상을 직접 해석하지 않아도 자신의 체지방 및 근육 상태를 이해할 수 있도록 결과를 직관적인 형태로 제공한다. 이를 통해 사용자는 일상 환경에서 복부 지방 및 근육 상태를 확인하고, 반복 측정을 통해 신체 변화 추세를 관리할 수 있다.



〈그림 3〉 스마트미러 기반 체지방 분석 UI 예시

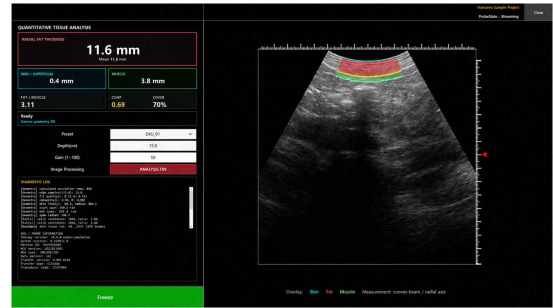
그림 3은 피하지방 두께, 근육 두께, 지방/근육 비율 등의 분석 결과와 복부 측정 위치 안내를 스마트미러 화면에 표시한 사용자 인터페이스 예시이다.

2.4 초기 구현 결과

초기 구현 단계에서는 상용 소형 초음파 장비를 이용하여 복부 B-mode 영상을 획득하고, 영상 내 조직 경계 표시와 두께 분석 결과가 출력되는 것을 확인하였다. 복부 지방 측정 관련 선행 연구에서는 배꼽 부위 또는 배꼽 높이가 복부 지방 측정을 위한 기준 위치로 활용되어 왔다[3]. 본 연구에서는 이를 참고하여 사용자가 쉽게 인식할 수 있는 배꼽을 기준으로 설정하였으며, 프로브 접촉 및 반복 측정 시의 위치 재현성을 고려하여 배꼽 상부 1 cm 지점을 기준 측정 위치로 정의하였다.

획득된 영상에서는 피하지방층과 근육층의 주요 경계가 색상 오버레이 형태로 표시되었으며, 분석 결과로 지방 두께, 근육 두께, 지방/근육 비율 등이 수치로 제공되었다. 이를 통해 제안 시스템이 복부 초음파 영상 기반으로 국소 부위의 체지방 및 근육 정보를 정량화하고, 사용자 인터페이스를 통해 시각적으로 제공할 수 있음을 확인하였다.

그림 4는 복부 초음파 영상에서 피하지방층과 근육층의 경계를 표시하고, 지방 두께, 근육 두께, 지방/근육 비율 등의 분석 결과를 출력한 초기 구현 결과를 나타낸다. 좌측 영역에는 측정 위치와 분석 결과가 표시되며, 우측 초음파 영상에는 검출된 조직 경계가 색상 오버레이 형태로 표시된다.



〈그림 4〉 복부 초음파 영상 기반 지방 및 근육 두께 분석 결과

3. 결 론

본 논문에서는 개인용 체지방 관리를 위한 초음파-스마트미러 융합 시스템을 제안하였다. 제안 시스템은 복부 B-mode 영상에서 피하지방층과 근육층의 경계를 분석하여 각 조직의 두께를 산출하고, 스마트미러 인터페이스를 통해 측정 위치와 분석 결과를 직관적으로 제공하도록 구성된다.

초기 구현 결과, 상용 소형 초음파 장비를 이용하여 배꼽 상부 1 cm 지점의 복부 초음파 영상을 획득하고, 영상 내 피하지방층 및 근육층 경계 표시와 함께 지방 두께, 근육 두께, 지방/근육 비율 등의 분석 결과가 수치로 출력됨을 확인하였다. 또한 배꼽을 기준으로 한 측정 위치를 설정함으로써 일반 사용자가 반복 측정 시 동일한 부위를 보다 쉽게 인식할 수 있도록 하였다.

향후 연구에서는 다양한 피험자와 측정 조건을 대상으로 추가 실험을 수행하여 측정 결과의 재현성과 활용 가능성을 평가할 예정이다. 또한 스마트미러 인터페이스와의 연동을 고도화하여 측정 위치 안내, 결과 시각화, 변화 추세 분석 기능을 통합할 계획이다. 이를 통해 제안 시스템은 일상 환경에서 체지방 변화를 비침습적으로 모니터링할 수 있는 개인 헬스케어 보조 시스템으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 교육부 및 한국연구재단의 첨단분야 혁신 융합대학사업, 2026년도 산업통상자원부 및 한국산업 기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원 (RS-2023-KT224893), 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원 학·석사연계ICT핵심인 재양성사업(IITP-당해년도-RS-2024-00437027), 한국연구재단 정책연구과제(RS-2026-25483819)의 수행 결과를 토대로 작성되었으며, 한국연구재단의 공식적인 견해와는 다를 수 있습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. C. Pineau, J. R. Filliard, and M. Bocquet, "Ultrasound Techniques Applied to Body Fat Measurement in Male and Female Athletes", *Journal of Athletic Training*, Vol. 44, No. 2, pp. 142-147, 2009.
- [2] 김광백, "근육의 크기와 형태의 초음파적 분석", *전자공학회 논문지-CI*, Vol. 48, No. 2, pp. 9-15, 2011.
- [3] 심윤희, 조수진, 유정현, 홍영미, "소아 복부비만 진단을 위한 복부 전산화 단층 촬영의 유용성과 여러 지표와의 상관성 연구", *Clinical and Experimental Pediatrics*, Vol. 48, No. 10, pp. 1082-1089, 2005.