

스트레스 기반 생체 전류 리듬 균형화 메커니즘

박성호*, 정은진*, 문창주*, 김장환**, 전병국***, 김영철****

Stress-Based Biocurrent Rhythm Balancing Mechanism

Sungho Park, Eunjin Jeong*, Changju Mun*, Janghwan Kim**,*

*Byungkook Jeon***, R. Young Chul Kim*****

요 약

우리는 선행 연구에서 구축한 GSR-HRV 기반 AI 스트레스 판별 시스템에 아큐빔 III를 활용한 장기별 생체전류 측정과 전통 한의학의 반지 요법 개념을 결합하여, 생체전류 조절을 통한 스트레스 완화 가능성을 탐색하였다. 웨어러블 기기로부터 HRV(RMSSD, SDNN)를 추출하고 아두이노 기반 GSR을 측정하여 스트레스 단계를 산출한 뒤, 손 상응점에서 장기별 생체전류를 측정하여 활성도가 높은 장부에 해당하는 손가락에 은반지를 착용하도록 설계하였다. 단일 피험자 적용 결과, 초기에는 신장-폐상응 부위의 생체전류가 높고 스트레스 단계가 3(높음)으로 분류되었으나, 은반지 착용 후 동일 조건에서 재측정한 결과 해당 부위의 생체전류가 전반적으로 감소하고 스트레스 단계가 1(낮음)으로 분류되어 장기별 생체전류 조절과 스트레스 수준 변화 간의 연관 가능성을 확인하였다. 본 논문은 피험자 수와 관찰 기간이 제한된 예비적 사례 연구이지만, GSR-HRV와 장기별 생체전류, 반지 요법을 통합한 디지털 스트레스 관리 메커니즘이다.

Key words

*GSR, HRV, Bioelectric Current, AI-based Stress Assessment, Acubeam III, Ring Therapy,
Traditional Korean Medicine, Digital Healthcare*

* 흥익대학교 세종캠퍼스 소프트웨어융합학과, 학부생({andytjdgh@, jej031020}@gmail.com, ckdwnan@naver.com)

** 흥익대학교 세종캠퍼스 소프트웨어융합학과, 박사과정(lentoconstant@hongik.ac.kr)

*** 강릉원주대학교 컴퓨터공학과, 교수(jeonbk@gwnu.ac.kr)

**** 흥익대학교 세종캠퍼스 소프트웨어융합학과, 교수(bob@hongik.ac.kr)

I. 서 론

최근 경기 침체와 경쟁 심화로 인해 일상적 스트레스가 만성화되면서 전 연령층에서 정신 건강 저하와 관련 증상이 꾸준히 증가하고 있다. 이를 관리하기 위한 디지털 헬스케어 서비스가 다양하게 등장하고 있지만, 대부분은 HRV (Heart Rate Variability, 심박변이도)와 같은 단일 생리적 지표에 의존하여 스트레스 이외의 요인이나 문화적·정서적 특성을 충분히 반영하지 못한다.

한의학에서는 스트레스를 간·심장·비장·폐·신장 오장의 기능 불균형과 밀접한 관련이 있는 것으로 본다. 그럼에도 스트레스와 장기별 생체전류 분포를 동시에 계량적으로 분석한 연구는 제한적이다.

본 논문은 GSR과 HRV로 전신의 스트레스 반응을 측정하고, 아큐빔 III를 이용해 장기별 생체전류 값을 정량화하여 스트레스와의 연관성을 분석하고자 한다. 스트레스가 있는 상태에서 특정 장기 영역의 생체전류가 증가 또는 감소한다는 가설을 설정하며, 은반지를 통해 생체전류를 조절했을 때 스트레스 정도가 어떻게 변하는지 검증한다. 이를 통해 생체전류를 조절해 스트레스 정도를 완화할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2장에서는 선행 연구를 중심으로 GSR·HRV를 활용한 스트레스 측정 방법과 생체전류 측정에 대해 정리한다. 3장에서는 AI 기반 스트레스 판별 시스템, 장기별 생체전류를 활용한 한의학적 진단 메커니즘, 반지 요법을 통합한 제안 메커니즘을 제시한다. 4장에서는 실제 피험자 데이터를 활용한 적용 사례를 통해 제안 방법의 가능성을 검토하며, 5장에서는 연구 결과를 요약하고 한계 및

향후 연구 방향을 논의한다.

II. 관련 연구

2.1 스트레스 측정

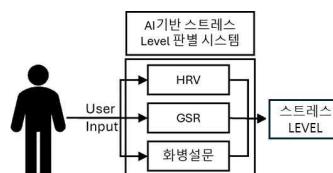


그림 1. AI 기반 스트레스 판별 시스템 메커니즘

그림 1은 선행 연구에서 제안한, GSR과 HRV를 결합해 스트레스 수준을 정량적으로 평가하는 메커니즘을 다이어그램으로 나타낸 것이다. 이 연구는 HRV 단일 지표만으로는 스트레스 이외의 요인과 문화적·주관적 특성을 반영하기 어렵다는 한계를 지적하며, 웨어러블 기기에서 얻은 HRV 지표(SDNN, RMSSD)와 GSR에서 추출한 특성 등을 함께 활용하여 자율신경계 상태와 순간적 각성 반응을 평가하고, 이를 통해 스트레스 정도를 정량적으로 산출한다.

2.2 생체전류 측정

전통 한의학은 체질, 생활 습관 등을 종합적으로 고려하여 진단한다는 강점을 가지지만, 오랜 임상 경험과 한의서 해석에 크게 의존해 현대 의학 체계에서 요구하는 표준화 측면에서는 한계를 가진다는 지적이 이루어져 왔다. 이에 일부 연구에서는 사상의학 및 팔체질의학 이론을 기반으로, 인체의 장부 상태를 ‘생체전류’라는 계량적 지표로 표현하여 한의학의 현대화를 시도하고 있다.



그림 2. 아큐빔-III

그림 2는 본 연구에 활용되는 생체전류 측정 기기이다. 선행 연구에서는 고려수지침·서금요법 계열에서 사용하는 아큐빔III 장비를 활용하여 손의 상응점에서 생체전류를 측정하고, 이를 통해 신장·비장·폐·심장·간·방광 6장부의 기능 상태를 추정하는 방법을 제시한다. 손바닥의 특정 부위를 각 장부의 상응점으로 설정하고, 각 지점의 전류 크기와 패턴을 분석함으로써 장부별 상대적 활성도를 평가한다.

III. 제안 메커니즘



그림 3. 스트레스-생체전류 조절 프로세스

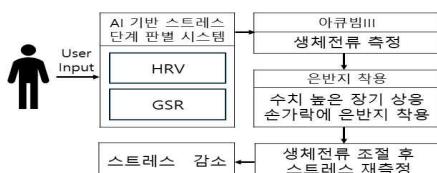
그림 4. 스트레스-생체전류 조절
메커니즘

그림 3과 그림 4는 본 연구에서 제안하는 스트레스-생체전류 조절 프로세스와 메커니즘을 나타낸 것이다. 먼저 피험자는 웨어러블 HRV와 GSR을 입력으로 하는 AI 기반 스트레스 단계 판별 시스템을 통해 현재 스트레스 수준을 평가 받는다. 동시에 아큐빔 III를 이용해 장기별 생체전류를 측정하여 수치가 높은 장기를 확인하고, 해당 장부에 상응하는

손가락에 은반지를 착용한다. 이후 은반지 착용을 통해 체표 생체전류를 조절한 뒤, 다시 스트레스와 생체전류를 재측정하여 스트레스 단계와 장기별 전류 분포 변화 양상을 비교·분석한다. 이하에서는 각 단계의 세부 동작 원리를 순서대로 설명한다.

3.1 AI 기반 스트레스 판별 시스템

AI 기반 스트레스 수준 판별 시스템은 단일 생리 지표에 의존하던 기존 접근의 한계를 보완하고, GSR과 HRV를 동시에 활용하여 스트레스 평가의 정밀도를 높이는 것을 목적으로 한다.

사용자의 HRV(심박변이도)와 GSR(피부전기반응)이라는 상호 보완적 특성을 가진 두 가지 생리 데이터를 수집한다.

먼저 HRV 신호는 SDNN 및 RMSSD를 산출한 뒤, 해당 일자의 평균값을 계산하고, 약 2주간 축적된 개인별 기준선(baseline)과 비교함으로써 자율신경계의 균형 상태를 평가한다. 동시에 GSR 신호는 P2H 전처리 과정을 거친 후 피크 탐지 알고리즘을 적용하여 순간적인 각 성 수준을 반영하는 대표값을 추출한다.

이와 같이 HRV를 통해 장기적인 자율신경계 상태를, GSR을 통해 단기적인 교감신경 활성과 순간 반응을 파악함으로써, 시스템은 두 지표를 결합한 AI 기반 분석을 통해 사용자의 스트레스 수준을 보다 정밀하게 판별하도록 설계된다.

3.2 생체전류를 통한 사상체질 식별

한의학에서는 환자의 건강 상태를 파악하는 핵심 요소로 경락과 경혈에 대한 진단을 중요하게 다룬다. 경락은 생체에너지, 즉 전기적 신호가 흐르는 통로로 이해되며, 경혈은 기(氣)와 혈(血)이 교차하는 지점으로서 체표와 내부 장기

를 연결하는 역할을 한다. 김봉한의 산 알 이론은 이러한 경락 체계를 과학적으로 설명하려는 시도 중 하나로, 인체 장기와 경락 사이의 연결성을 전기적 관점에서 규명하고자 한다.

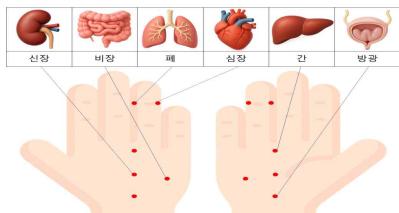


그림 5 장기-손 상응 다이어그램

그림 5는 손바닥에서 각 장기에 대응하는 상응 부위의 위치를 나타낸다. 신장, 비장, 폐, 심장, 간, 방광에 해당하는 상응점을 표시하였으며, 양손의 손바닥에서 좌우 대칭 구조를 이루고 있다.

본 연구에서 사용하는 장치는 질환과 연관된 반응점을 찾기 위해 이러한 상응 점에서의 생체전류 세기를 측정한다. 각 지점에서 측정된 전류 값의 이상 여부를 통해 해당 장기의 이상 가능성을 탐지할 수 있으며, 전류의 크기와 패턴을 바탕으로 신호의 강약을 판별하여 장기 기능 상태를 평가한다. 이를 통해 장기별 기능 정도 및 불균형 양상을 파악하고, 생체전류 정보를 기반으로 한 한의학적 진단 메커니즘을 구현하고자 한다.

3.3 반지 요법



그림 6. 해당 장부의 기운 조절에 활용되는 반지 착용 위치

그림 6는 제1지지부터 제5지지까지의 손가락에 목·화·토·금·수의 오행과 간·심·비·폐·신 장부가 각각 상응하도록 배치한

손가락-장부 대응 관계를 나타낸 것이다. 사상의학과 팔상체질 이론을 정리한 『사상체질 팔상체질 감별법』에서는 다섯 손가락에 목·화·토·금·수의 오행성이 부여되며, 각각 간·심·비·폐·신과 같은 장부에 상응한다고 본다. 이에 따라 특정 손가락에 착용하는 반지가 해당 장부의 기운을 보하거나 사하는 도구로 활용될 수 있다고 보고, 이를 일종의 ‘반지 요법’으로 설명한다. 이 이론에서는 금반지가 기운을 보충하는 보(補) 작용을, 은반지가 기운을 흡어주고 내려주는 사(瀉) 작용을 있다고 보며, 허(虛)한 장기에는 금반지를, 실(實)한 장기에는 은반지를 착용하는 것이 원칙이라고 제시한다.

이러한 반지 요법은 전통 한의학의 오행-장부 상응 이론과 사상체질 허실 개념을 손가락에 적용한 것으로, 특히 은반지는 과도하게 항진된 장부 기능을 가라앉히고(瀉) 긴장과 열감을 완화하는 데 도움을 줄 수 있다는 관점에서 설명된다.

IV. 적용 사례

제4장에서는 제3장에서 제안한 스트레스-생체전류 조절 메커니즘이 실제 측정 데이터에 어떻게 적용되는지 한 피험자의 사례를 통해 살펴본다.

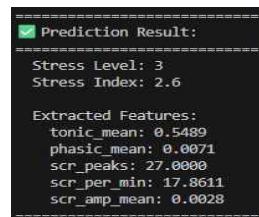


그림 7. 피험자의 GSR 측정 결과

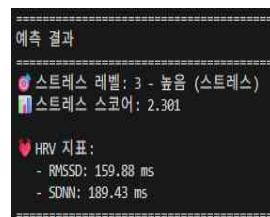


그림 8. 피험자의 HRV 측정 결과

그림 7은 GSR 측정 결과를, 그림 8는 웨어러블 기기를 통해 얻은 HRV 측정 결과를 나타낸다. 두 표에서 스트레스

단계가 3(높음)으로 분류되어 피험자가 전반적으로 높은 스트레스 상태에 있음을 알 수 있다.

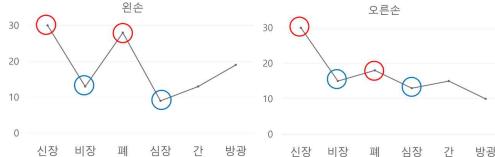


그림 9. 좌측 손바닥 생체전류 측정값



그림 10. 우측 손바닥 생체전류 측정값

그림 9과 그림 10은 피험자의 좌·우 손 바닥에서 측정한 장기별 생체전류 분포를 나타낸 것이다. 그림 9의 좌측 손바닥 생체전류 그래프를 살펴보면, 신장과 폐에 해당하는 상응점에서 다른 장기에 비해 상대적으로 높은 전류 값이 관찰되며, 비장·심장 등 일부 부위는 비교적 낮은 수준을 보인다.

이러한 결과는 스트레스와 장기 기능 간의 관계를 탐색할 수 있는 가능성을 시사한다. 이후 실험에서는 은반지 착용을 통해 체표 생체전류를 조절한 뒤, 장기별 전류 패턴과 스트레스 지수 변화 양상을 비교함으로써 이러한 연관성을 보다 구체적으로 검증하고자 한다.

이후 단계에서 피험자는 실험 설계에 따라 손가락의 장부 상응점 부위에 은반지를 착용한 상태로 일정 시간 안정 상태를 유지하였다. 이어서 동일한 조건에서 생체전류와 GSR·HRV를 다시 측정함으로써, 은반지 착용 전·후의 장기별 생체전류 분포와 스트레스 지수 변화를 비교·분석하였다.



그림 11. 은반지 착용 후 좌측 손바닥 생체전류 측정값



그림 12. 은반지 착용 후 우측 손바닥 생체전류 측정값

그림 11와 그림 12은 은반지 착용 후

좌·우 손에서 측정한 장기별 생체전류 분포를 나타낸 것이다. 이전 측정 결과와 비교했을 때 신장과 폐 상응 부위의 전류 값이 전반적으로 감소한 것을 확인할 수 있다. 이후 동일한 조건에서 GSR을 재측정한 결과, 시스템이 산출한 스트레스 단계는 1(낮음)으로 분류되어 피험자의 스트레스 수준이 전측정 대비 감소했음을 확인할 수 있었다.

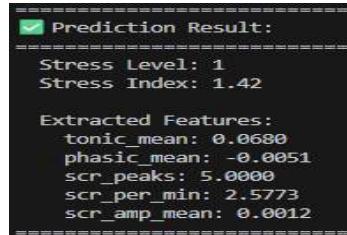


그림 13. 은반지 착용 후 GSR 기반 스트레스 판별 결과

그림 13은 은반지 착용 후 동일 조건에서 GSR을 재측정하여 AI 시스템이 산출한 스트레스 판별 결과이다. 본 연구에서 HRV는 웨어러블 기기를 통해 일정 시간 이상 축적된 심박 데이터를 기반으로 산출하도록 설계하였기 때문에, 반지 착용 직후의 단기 변화를 평가하는 단계에서는 GSR만 재측정 지표로 활용하였다.

V. 결론 및 향후 연구

본 연구는 선행 연구에서 제안된 GSR·HRV 기반 AI 스트레스 판별 시스템에 아큐빔 III를 활용한 장기별 생체전류 측정과 전통 한의학의 반지 요법 개념을 결합하여, 생체전류 조절을 통한 스트레스 완화 가능성을 탐색하였다. 웨어러블 HRV(RMSSD, SDNN) 및 아두이노 기반 GSR 모듈은 스트레스 정도를 산출하는 기준 시스템으로 활용하였고, 본 연구의 핵심 기여는 장기별 생체전류 패턴을 계량적으로 측정하고, 은반지 착

용 전·후의 전류 분포 변화와 스트레스 지표 변화를 연계해 분석한 데 있다. 단일 피험자 적용 사례에서 초기 스트레스 단계는 3(높음)이었으며, 장기별 생체전류 분포에서는 손 상응점 중 신장·폐 부위의 값이 상대적으로 높게 나타났다. 이후 해당 손가락 상응 부위에 은반지를 착용한 뒤 동일 조건에서 재측정한 결과, 신장·폐 상응점의 전류 값이 전반적으로 감소하고 스트레스 단계가 1(낮음)으로 완화되어, 손가락 부위 은반지 착용을 통한 장기별 생체전류 조절이 스트레스 감소와 연관될 수 있는 가능성을 확인하였다.

다만 본 연구는 단일 피험자, 단기 관찰, 대조군 부재 등 여러 한계를 가지며, 반지 요법 및 오행-장부-수지 상응 이론 자체도 현대 의학적으로 충분히 검증되지 않았다는 점에서 결과의 일반화에는 신중한 접근이 필요하다. 향후 연구에서는 다수의 피험자와 적절한 대조군을 포함한 반복 실험을 통해 은반지 착용이 장기별 생체전류와 스트레스 지표에 미치는 효과를 통계적으로 검증할 필요가 있다. 또한 GSR·HRV뿐 아니라 혈압, 호흡수, 피부온도, 우울·불안 척도 등 다양한 생리·심리 지표를 통합한 다중 지표 기반 예측 모형을 개발하고, 이를 모바일·웹 환경에서 개인 맞춤형 스트레스 관리 피드백을 제공하는 디지털 헬스케어 서비스로 확장하는 것이 향후 과제로 남는다.

참 고 문 헌

- [1] J. Kim, W. Jang, and R. Young Chul Kim, “A Visualization Model for Classification of Human Personality through Bio-electric Current Pattern Analysis,, Proc. 2023 International Conference on Comput

ational Science and Computational Intelligence (CSCI), pp. 1444-1448, Dec. 2023. doi:10.1109/CSCI62032.2023.00236.

- [2] 문창주, 좌금주, 박지민, 함정아, 김장환, 김영철, 「인공지능 기반 스트레스 수준 판별 시스템 연구」, 2025년 국제인공지능 학회 종합학술대회 논문집』, 2025.
- [3] 이명복, 『사상체질 팔상체질 감별법: 체질을 알면 건강이 보인다!』, 서울: 건강신문사, 2007.

◎ 논문 주저자 정보입력

수정이 필요할 경우, 연락 받으실 분의 정보로 입력 부탁드립니다.

- 이름 : 박성호
- 소속 : 홍익대학교
- 구분 : 학부생
- 연락처 : 010 - 2922 - 6844
- 이메일 : andyjdgh@gmail.com