JDCS
디지털콘텐츠학회논문지
Journal of Digital Contents Society
Vol. 22, No. 10, pp. 1695-1706, Oct. 2021

스트레스 연구에서 피트니스 트래커(fitness tracker)의 활용 가능성 탐색

이 정 민[1] · 김 유 미[2*]
[1]서울대학교 아동가족학과 박사졸업
[2*]숙명여자대학교 교육대학원 유아교육전공 조교수

Explore the possibilities of using a fitness tracker in stress studies

Jungmin Lee[1] · Yu-Mi Kim[2*]
[1]Ph.D., Department of Child Development and Family Studies, Seoul National University, Seoul 08826, Korea
[2*]Assistant Professor, Graduate School of Education, Sookmyung Women's University, Seoul 04310, Korea

[요 약]

본 연구는 웨어러블 기기로 보급되고 있는 피트니스 트래커로 측정가능한 개인의 생체정보인 심박변이도, 보행수, 수면정보를 활용한 스트레스 연구의 타당성과 가능성을 탐색하였다. 최근 연구결과들을 토대로 보았을 때 피트니스 트래커는 기존 기기를 활용한 측정결과와 비교 시 신뢰할만한 자료를 수집할 수 있는 것으로 보인다. 피트니스 트래커는 사용의 간편함, 실시간 정보의 수집, 저장, 산출 가능성의 측면에서 개인 스트레스 관리 및 관련 연구 분야에 폭 넓게 활용될 수 있으며 생태학적 타당성을 확보할 수 있는 방법이 될 것이다. 특히 코로나19 상황에서 비대면 자료 수집이 가능하다는 유용한 측면이 있다. 앞으로 피트니스 트래커를 활용한 융합연구가 더욱 활발하게 이루어져 스트레스 연구의 새로운 지평을 열 수 있기를 기대한다.

[Abstract]

This study explored the validity and possibility of stress research using personal biometric information such as heart rate variability, number of steps, and sleep that can be measured with fitness trackers as wearable devices. Based on recent research results, it seems that fitness trackers can collect reliable data when compared with measurement results using existing devices. The fitness tracker can be widely used in personal stress management and related research fields in terms of ease of use, collection, storage, and calculation of real-time information, and will be a method to meet the ecological validity. In the context of COVID-19, non-face-to-face data collection possiblility is a useful and powerful aspect. It is expected that convergence research using fitness trackers will become more active in the future, and it is expected to open new horizons for stress research.

색인어 : 스트레스, 피트니스 트래커, 심박변이도, 수면, 보행수

Keyword : Stress, Fitness Tracker, Heart Rate Variability, Sleep, Steps

http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2021.22.10.1695

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-CommercialLicense(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 31 August 2021; **Revised** 23 September 2021
Accepted 05 October 2021

***Corresponding Author; Yu-Mi Kim**

Tel: +82-2-710-9008
E-mail: yumikim7@sm.ac.kr

Copyright ⓒ 2021 The Digital Contents Society

Ⅰ. 서 론

스마트 전자 기술의 발달과 더불어 일상에서 지속적으로 착용하여 건강과 관련된 생체 정보를 수집하는 전자 기기인 웨어러블 기기에 대한 일상 및 학계의 관심이 높아지고 있다. 2018년 기준 132개의 회사에서 423종의 웨어러블 기기가 출시되었다[1] 피트니스 트래커의 시장 규모는 2020년에는 346억 달러였으며, 2021년부터 2028년까지 매년 18.9%의 성장률을 보일 것으로 전망되고 있다[2]. 특히 건강에 대한 관심이 높아지고 코로나19가 지속되는 상황에서 더욱 이러한 기기에 대한 관심이 커질 것으로 보인다.

피트니스 트래커는 개인 착용자의 건강 관리 뿐만 아니라 새로운 정보수집 도구로서의 가능성을 주목할 수 있다. 피트니스 트래커에는 건강 및 스트레스의 다양한 측면을 살펴보게 해주는 생체신호를 감지하는 여러 센서가 장착되어 있다. 피트니스 트래커를 착용함으로써 사용자는 자신의 활동량, 수면 특성, 심박수 등에 대해 알고, 건강 관리를 위해 이러한 정보를 활용할 수 있다. 최근에는 기본적인 건강 관련 생체 정보뿐만 아니라. 이를 토대로 하여 착용자의 스트레스를 측정하고 관리할 수 있는 제품이 출시되고 있다. 애플, 핏빗, 가민 등 대표적인 팔찌 형태의 웨어러블 기기 외에도 클립(Spire), 헤드셋(Muse, Flowtime), 목걸이(Bellabeat Leaf), 반지(Omnifit) 등의 형태로 다양한 제품이 출시되었다.

그간 웨어러블 디바이스로서 피트니스 트래커에 대한 연구는 의학 및 공학 분야에서 주를 이루었다. 건강 관리나 질병 치료를 목적으로 기기를 활용하거나, 피트니스 트래커의 센서로 생체지표를 측정하는 기술을 개발하고 수집된 데이터를 분석하는 연구가 이루어졌다. 즉 학계에서 피트니스 트래커는 건강 관리, 의료, 신기술 개발의 측면에서 주로 접근되었다.

그러나 피트니스 트래커는 보다 다양한 분야의 융합 연구에서 연구도구로 활용될 가능성이 있다. 최근 피트니스 트래커를 연구에 활용하고자 하는 시도가 활발히 진행되고 있다. 손목에 착용하는 방식의 피트니스 트래커는 동일 지표를 측정해 온 표준적 방식의 기기를 활용한 결과와 비교했을 때 10% 미만의 오차를 보이고, 일회성 정보가 아닌 착용자에 대한 대량 정보를 수집할 수 있다는 장점이 있다[3]. 이와 같이 도구의 비침습성, 대량 정보 생산, 표준 기계에 비해 저렴한 가격 등을 고려하면 피트니스 트래커는 연구에서 더욱 적극적으로 활용될 것으로 전망된다.

피트니스 트래커의 연구 활용이 유망해보이는 분야로 인문사회 분야에서 이루어지는 스트레스 연구를 들 수 있다. 인문사회 분야를 비롯한 여러 융합연구에서 피트니스 트래커가 활용된다면 크게 두 가지 이점을 기대할 수 있다. 첫째로 피트니스 트래커로 측정된 자료를 여러 개인 특성, 심리변인, 환경변인 등과 연결지어 관련성을 살펴봄으로서 피트니스 트래커의 연구 활용이 크게 확장될 수 있다. 둘째로 인문사회 분야에서 이루어져온 스트레스 연구의 한계를 극복하고 새로운 방향으로 나아갈 수 있게 해준다. 스트레스는 심리학의 주요 연구 주제 중의 하나이다. 그간 심리학 분야의 스트레스 연구는 정형화된 심리 척도를 사용하여 참여자에게 주관적으로 스트레스 수준을 판단하게 하는 방식을 주로 사용해왔다. 개인의 지각뿐 아니라 신경생리학 수준에서 나타나는 스트레스 반응까지 살펴보아야 한다는 근거가 있음에도 불구하고, 이러한 생리 지표는 비용 및 절차 측면에서 쉽게 접근하기 어렵다는 큰 제약이 있었다. 소비자용 피트니스 트래커는 착용자가 일상생활을 하는 중에 자료를 수집하게 되므로 생태학적 타당도를 확보하고 객관적인 생리지표를 장기간에 걸쳐 반복 측정할 수 있다. 또한 두 가지 이상의 다각적인 생리지표를 측정할 수 있기 때문에 연구참여자 개인의 스트레스 양상을 보다 심층적으로 파악하게 해 준다.

요약하면, 피트니스 트래커는 스트레스에 초점을 두는 여러 융합 연구에 활용될 가능성이 있다. 피트니스 트래커로 측정한 정보를 다양한 심리 및 맥락 정보와 결합해 새로운 결과를 산출할 수 있다면, 사용자에게 더 나은 정보를 제공하여 행복과 건강한 삶을 추구할 수 있도록 도울 수 있을 것이다. 이에 이 연구는 스트레스 연구에서 피트니스 트래커를 연구도구로 검토하고자 할 때 가장 쟁점이 될 두 가지 문제에 대한 답을 찾고자 한다. 첫째, 피트니스 트래커를 스트레스 연구에 활용하는 것이 타당한가? 둘째, 피트니스 트래커를 스트레스 연구에 활용한 사례는 무엇인가? 이에 대한 답을 제시함으로써 스트레스를 측정하는 연구 도구로서 피트니스 트래커를 쓰고자 할 때 무엇을 염두에 두어야 하며, 피트니스 트래커가 연구 도구로서 어떤 가능성이 있는지를 밝힐 것이다. 이를 위하여 논문, 연구보고서, 인터넷 자료 등을 통한 문헌 조사 연구방법을 사용하고자 한다. 자료 분석을 통해 피트니스 트래커로 측정할 수 있는 대표적인 스트레스 지표로 심박변이도, 보행수 및 수면 특성에 대해 각각 측정원리와 타당성을 검토할 것이다. 또한 이 지표를 활용한 연구 사례를 살펴볼 것이다. 연구 결과를 토대로 피트니스 트래커를 활용한 스트레스 연구가 나아가야 할 방향을 제시할 것이다. 이는 피트니스 트래커의 연구 활용을 넓히고, 스트레스 연구가 새로운 방향으로 나아가도록 하는데 기여할 것이다.

Ⅱ. 이론적 배경

2-1 피트니스 트래커(fitness tracker)

피트니스 트래커는 웨어러블 기기의 한 종류이다. 웨어러블 기기(wearable devices)란 몸에 심거나 액세서리로 착용하여 컴퓨팅 행위를 할 수 있는 모든 것을 지칭하며, 일부 컴퓨팅 기능을 수행할 수 있는 어플리케이션까지도 포함한다[4]. 임철수 (2017)에 따르면 웨어러블 기기는 피트니스 및 웰빙, 헬스케어 및 의료, 인포테인먼트, 기업 및 군대의 네 가

지 기능으로 구분할 수 있다[4]. 이 중에서도 피트니스 트래커는 피트니스와 웰빙 기능 및 헬스케어 및 의료 기능과 관련이 있다. 피트니스 트래커에는 건강 및 스트레스와 관련된 생체신호를 감지하는 여러 센서가 장착되어 있다. 착용자는 일상에서 피트니스 트래커를 착용함으로써 건강과 관련된 생체 정보를 실시간으로 수집하고 확인할 수 있다. 또한 피트니스 트래커는 전체 웨어러블 기기 시장에서 50%의 이상의 비율을 차지하여[5], 여러 웨어러블 기기 중에서도 대중에게 잘 알려진 편이다.

피트니스 트래커에 대한 학술적인 논의는 세 가지 흐름으로 정리된다. 첫째로 헬스케어에 초점을 두고 건강 관리 및 질병 치료를 위해 피트니스 트래커를 활용하는 방안에 대한 연구가 있다. 가령 이예림과 정정호(2017)에 따르면 웨어러블 기기는 심뇌혈관 질환을 예방하기 위한 건강활동 트래킹, 생체신호 트래킹, 의료진과 피드백 기능을 제공하여 질환에 대해 개인이 적극적으로 관리하는데 기여할 가능성이 있다[6]. 특정 질환이 있는 환자, 노인, 영유아, 반려동물 뿐 아니라 일반인을 대상으로 평소에 건강한 라이프 스타일을 유지하도록 하는 연구가 진행되었다.

두 번째로 공학 분야에서는 피트니스 트래커의 센서로 생체지표를 추정하는 알고리즘을 개발하고 이 때 발생하는 오차를 줄이는 연구[7]를 사례로 들 수 있다. 또한 피트니스 트래커로 수집된 생체 정보는 기존의 다른 방식을 사용해 수집되는 소규모의 정보와는 차원이 다르게 방대한 양을 이룬다. 이를 적절히 분석하기 위한 빅데이터 차원의 접근 또한 이루어지고 있다[8].

세 번째는 경영, 소비자, 디자인 분야에서 이루어지는 피트니스 트래커 연구이다. 이 흐름의 연구들은 피트니스 트래커에서 소비자들이 만족을 느끼는 점이 무엇이며, 소비자가 만족할만한 디자인을 찾는데 주목한다.

이상 살펴본 바를 종합하면, 피트니스 트래커에 대한 학술연구는 기술 및 디자인 측면에서 피트니스 트래커를 개발하고, 의료 측면에서 피트니스 트래커를 건강 관리 및 질병 치료에 활용하는 것으로 정리된다. 이 외에 피트니스 트래커를 연구 용도로 활용하고자 하는 연구는 주로 이 기기로 측정한 지표가 기존에 사용되던 표준 기기로 얻은 데이터만큼 정확한지, 그 타당도를 검증하는데 초점을 맞추었다. 반면에 특정 연구문제를 해결하기 위해 피트니스 트래커를 활용하고, 다른 지표들과 함께 분석한 사례는 많지 않은 편이다. 피트니스 트래커로 얻은 스트레스 지표도 충분히 타당하다는 연구가 쌓이고 있으므로, 이를 보다 적극적으로 스트레스 연구에 활용할 필요가 있다. 이 연구는 학술 연구의 도구로서 피트니스 트래커가 스트레스 연구에 사용될 가능성을 제시하고자 한다.

2-2 스트레스의 개념, 측정 및 관련 생체지표

1) 스트레스의 개념 및 측정

스트레스의 사전적 정의는 생활, 직무 등에서 기인한 문제로 인한 정신적 긴장과 염려의 상태, 걱정과 불안의 감정을 강하게 환기하는 것, 물리적 힘 또는 압력이다[9]. 스트레스는 17세기에 물리생물학자 Hooke가 '탄성체가 변형되는 정도는 외력에 비례한다'고 주장하면서, 건물이나 다리 등의 구조물이 큰 하중을 견디고 바람, 지진 등의 자연 현상에 저항하는 과정을 탐색하면서 주목을 받게 되었다[10]. 이후 행동과학 분야에서도 인간에게 가해지는 물리적, 심리적 압력 및 이에 대한 반응을 볼 수 있는 개념으로서 스트레스가 탐색되었다.

Selye(1951)는 인체가 스트레스에 반응 및 적응을 하는 과정을 생물학적으로 다음과 같이 규명하였다[11]. 인체가 스트레스원에 노출되면 경고 반응이 이루어져 스트레스원에 대항하는 신체의 방어가 이루어진다. 시상하부에서 합성된 부신피질자극호르몬-방출호르몬(CRH)이 뇌하수체 전엽의 부신피질자극세포에 작용되어 부신피질자극호르몬(ACTH)의 분비를 촉진하고, ACTH가 혈관을 타고 부신피질에 도착하여 부신피질에서 글루티코르티코이드(인간의 경우 코티졸)가 합성 및 분비되며 유기체의 투쟁-도피 반응을 준비하게 한다. 2단계는 저항 단계로, 유기체가 스트레스원에 적응하여 겉으로는 정상적으로 보이지만 신경과 호르몬에 변화가 일어나고 이는 인체가 질병에 취약하게 한다. 마지막 3단계는 소진 단계로, 한정된 저항 능력이 고갈되어 병이 생기게 된다.

이러한 Selye의 신경생리학 관점의 스트레스 이론은 이후 알로스타틱 부하 모형과 적응적 교정 모형 이론으로 발전하였다. 알로스타틱 부하 모형(Allostatic Load Model)은 유기체가 만성적인 스트레스 상황에 노출되어 코티졸 분비, 혈압과 심박수 증가 등을 계속 경험하게 되면 알로스타틱 부하가 누적되고 질병에 취약해진다고 본다[12]. 적응적 교정 모형(Adaptive Calibration Model)은 알로스타틱 부하의 자체를 부정적으로 보지는 않는다. 적응적 교정 모형의 관점에서는 인체는 스트레스원에 대해 가장 잘 대처할 수 있는 자신의 상태를 계속 조정해 나가며, 개인마다 보이는 적응의 표현형은 다양할 수 있다고 본다[13]. 즉, 어느 시점에서 살펴본 개인의 코티졸 분비 수준이 높다고 해서 그 사람이 부적응을 경험하고 있다고 볼 수는 없으며 환경의 요구와 유기체의 극복능력의 균형을 고려해서 보아야 한다.

한편 Kyriacou와 Sutcliff(1978)는 인체의 스트레스 반응에 대해 엔지니어링 모형과 생리적 모형을 제시하였다[14]. 엔지니어링 모형은 스트레스가 환경의 부정적인 요인, 즉 스트레스원(stressor)그 자체라고 보는 접근이다. 생리적 모형은 스트레스원에 대한 개인의 생리적 반응 패턴으로 스트레스를 보는 접근으로 스트레스원과 이에 대한 개인의 신경생리학 차원의 반응을 모두 포함해서 스트레스를 살펴보아야 한다고 주장했다. 이상을 통해 보면 스트레스는 환경의 위협 및 이에 대한 인체의 반응을 모두 고려하는 개념이며, 이 반응은 신경생리학 수준에서 살펴보아야 함을 알 수 있다. 또한 신경생리학 수준에서 나타나는 개인의 스트레스 반응이 부적응이라고 판단하기 위해서는 장기간에 걸쳐 살펴보아야 한다.

기존의 스트레스 연구는 주로 스트레스의 엔지니어링 모형

관점을 취하여, 정형화된 심리 척도를 사용해 참여자에게 주관적으로 스트레스 수준을 판단하게 하는 방식을 사용해왔다. 이러한 연구방법은 개인에 따라 지각하는 스트레스의 강도에 차이가 있을 수 있고, 회고방식으로 보고하게 되므로 개인이 경험하는 스트레스를 실시간으로 파악하지 못한다는 한계가 있다.

또한 기존 연구에서는 특정 시간에 연구자가 연구참여자를 대상으로 측정하는 방식이 자주 사용되었다. 이는 연구자 중심이고 실험 환경에서 이루어져 자연스럽지 않으며, 생태학적 타당성에서 제한점이 있다. 또한 개인이 실제로 스트레스를 감소하고 건강을 증진하는 데까지 돕는데 한계가 있다.

스트레스와 관련된 다양한 생리 지표를 살펴본다면 이러한 한계를 극복할 수 있을 것이지만 그동안 생리 지표 측정은 비용 및 절차 측면에서 쉽게 접근하기 어렵다는 큰 제약이 있었다. 대표적인 스트레스 호르몬의 일종인 코티졸은 비침습적인 수집 방식이 도입되면서 영유아를 포함해 연구에 활발히 이용되었으나 이 또한 연구 절차 및 비용에서 부담이 커 효율이 낮다. 이에 비해 피트니스 트래커는 착용자가 일상생활을 하는 중에 자료를 수집하게 되므로 생태학적 타당도를 확보하고, 객관적인 생리지표를 장기간에 걸쳐 반복 측정할 수 있다. 또한 두 가지 이상의 다각적인 생리지표를 측정할 수 있기 때문에 연구참여자 개인의 스트레스 양상을 보다 심층적으로 파악하게 해준다. 이상을 통해 볼 때, 피트니스 트래커는 스트레스 반응을 살펴볼 수 있는 간명한 방식으로 연구에 활용될 가능성과 의미가 매우 높다고 보인다.

2) 스트레스 관련 생체지표

피트니스 트래커로 수집할 수 있는 대표적인 스트레스 지표는 심박변이도, 보행수와 수면 특성을 들 수 있다.

인체가 스트레스원에 노출되었을 때 자율신경계의 활동에서 변화가 나타나며, 이 과정에서 심장의 활동에 변화가 발생한다. 심장 활동을 나타내는 지표로 심박수(Heart Rate)와 심박변이도(Heart Rate Variability)를 들 수 있다. 심박수는 1분 동안 일어나는 심장 박동의 빈도를 의미하며 bpm(beats per minute)의 단위로 측정된다. 심박수는 연령과 관련이 있는데 신생아의 경우 분당 약 130회, 5-13세는 약 80-90회, 20세 이상에서는 약 70-75회이다. 이처럼 연령에 따라 다르긴 하나 대체로 휴식기의 심박수는 60-100 bpm 사이에 분포한다. 개인의 최저 심박수는 기상 후 몸을 일으키기 전에 측정한 수치로, 최대 심박수는 220에서 대략 자신의 나이를 뺀 수치로 볼 수 있다. 심박수는 운동강도가 높을수록 증가하는 특성이 있다. 심박수는 상황에 따라 영향을 받아 기온과 습도 상승에 따라 약 5-10 bpm까지 증가할 수 있으며 앉았다가 일어서는 15-20초까지, 스트레스 또는 불안 상태이거나 극도로 기분이 좋거나 나쁜 경우, 특정 약물을 복용하는 경우에 높아질 수 있다[15]. 또한 직장 내에서 보상이 낮다고 인식할수록 근무 중 및 퇴근 직후의 심박수가 높았다[16]. 요약하면 심박수는 연령, 운동 강도, 기온, 습도, 신체의 움직임, 약물 복용에 따라 다르며, 스트레스 상황에서 높아질 수 있다.

표 1. HRV의 주파수 성분 별 심박변이도 구분

Table 1. Classification of heart rate variability by frequency component of HRV

Frequency Component	Range of the Frequency	Description
Low Frequency	0.01 – 0.08 Hz	– Activation of sympathetic nerve system Increase of activity under psychological stress
Mid Frequency	0.08 – 0.15 Hz	Activation of sympathetic and parasympathetic nerve systems Domination of parasympathetic nerve system
High Frequency	0.15 – 0.4 Hz	Coexistence of various mechanisms, with dominance of parasympathetic nerve system Increases when in psychological stability

심박변이도는 연속되는 심장 박동 간격들 간의 시간을 의미한다. 심박변이도는 자율신경계의 활동을 측정할 수 있는 유용한 도구로 평가된다. 심박변이도 모두 정신적인 스트레스원에 따라 변화한다[17]. 심박변이도가 높을수록 직무 관련 스트레스 수준은 낮고 신체활동 수준은 높았다[18]. 건강한 성인의 경우 수면 시간 동안 심박수는 감소하고 심박변이도는 증가한다[19].

심박변이도를 주파수 성분별로 살펴보면 표1과 같이 Low Frequency(0.01 – 0.08Hz)는 교감 신경의 활동을 주로 나타내며 정신적 스트레스가 있는 경우 활동량이 증가하고, Mid Frequency(0.08 – 0.15Hz)는 교감/부교감 신경 모두가 활동하나 부교감 신경활동이 더 우세한 경우, High Frequency(0.15 – 0.4Hz)는 정서적 안정 시에 활동양이 증가하는 것으로 알려져 있다[20].

보행수와 수면 특성은 그 자체로는 스트레스를 직접적으로 보여주는 데이터는 아니지만, 간접적으로는 스트레스를 보여준다. 보행수(step counts)는 하루 동안 몇 걸음을 걸었는지에 대한 수치로 일일 보행수가 높을수록 건강과 긍정적 관련이 있었다[21]. 한편 과도한 보행수는 피로 및 스트레스의 지표가 될 수도 있다. 활동성 근로자의 하루 보행수는 사무직 근로자의 경우보다 4배가 높은 2만 여 보로 나타났으며[22], 교대근무 경찰은 야간근무일에 활동량과 활동계수가 높게 나타났다[23]. 이상을 통해 볼 때 보행수는 활동량과 관련되며 하루 중 또는 특정 시간대에 보행수가 뚜렷이 높으면 물리적인 피로 또는 스트레스와 연결될 수 있음을 알 수 있다.

수면은 인체가 건강하게 기능하기 위한 필수조건이다. 일반적으로 하루에 6-8시간의 수면이 적당하며 최근 증가하고 있는 수면 장애는 스트레스와 밀접한 관련이 있다. 인체는 스트레스 상황에서 뇌하수체-시상하부-부신피질 체계가 활성화되는데 이 과정에서 각성 및 흥분과 관련된 호르몬이 분비

되고, 스트레스와 관련된 불면증은 또다시 HPA축의 활성화와 관련된다[24]. 수면과 스트레스의 관계는 직무 스트레스 분야에서 활발히 탐색되었다. 직무 스트레스와 수면의 질은 부적인 관계가 있으며[25], 수면은 직무 스트레스 요인이 스트레스 반응에 미치는 영향을 중재하는 요인이기도 하다[26]. 즉 수면은 스트레스와 밀접한 관련이 있는 요인으로, 충분한 수면은 스트레스를 낮추는 것과 관련됨을 알 수 있다.

종합하면, 피트니스 트래커를 통해 스트레스에 대한 다각도의 생리 지표를 얻을 수 있다. 심박변이도를 기초로 한 스트레스 지수는 인체의 스트레스 수준을 객관적으로 보여준다. 보행수와 수면 특성은 간접적으로 인체가 얼마나 피로 및 스트레스를 경험하고 있는지 나타낸다. 다음 장에서는 피트니스 트래커를 활용해 측정한 심박변이도 기반의 스트레스 지수, 보행수 및 수면 특성을 스트레스 연구에 활용할 가능성을 살펴볼 것이다.

Ⅲ. 스트레스 연구에서 피트니스 트래커 활용 가능성

이 장에서는 스트레스와 관련된 생리 지표를 수집하기 위해 피트니스 트래커가 어떠한 원리로 작동하는지 살펴보고, 이렇게 수집된 데이터가 타당성을 갖추고 있는지 살펴본 기존 연구를 검토할 것이다. 또한 스트레스를 측정하기 위해 피트니스 트래커를 활용한 사례를 알아본다.

3-1 심박변이도를 기반으로 한 스트레스 지수

1) 피트니스 트래커에서 심박변이도 측정 원리 및 타당성

전통적으로 심박수 및 심박변이도는 심전도 검사(Electrocardiography)를 통해 이루어져왔다. 심전도 검사는 하나 또는 여러 개의 전극을 체표면에 부착하여 심장의 활동을 기록하고 해석하는 것으로, 심장 질환을 진단하는데 도움을 준다. 피트니스 트래커는 광혈류측정계(photoplethysmography)를 장착해 심박수를 측정한다. 광혈류측정계는 [그림 1]과 같이 피부를 밝혀 빛 흡수의 변화를 살펴봄으로써 산소포화도를 측정한다[27].

피트니스 트래커에 심박변이도 자료를 토대로 스트레스 지수를 도출해주는 소프트웨어를 탑재하기도 한다. 이러한 피트니스 트래커의 사례를 그림 2에서 살펴보면, 스트레스 수준을 0부터 100점까지로 측정하고 0점부터 1/4 구간마다 휴식, 낮은 스트레스, 중간 스트레스, 높은 스트레스로 구분하고 있다. 심박변이도를 토대로 인체의 스트레스와 회복을 분석하는 소프트웨어인 Firstbeat은 사용자 2만 명을 대상으로 자료를 수집하여 그림 3과 같은 결과를 도출하였다[19]. 이를 살펴보면 스트레스의 비율은 오전 4-6시경, 대략 기상 직전에 가장 낮고 오전6시 이후 높아지기 시작하여 오전 10시에서 오후 2시 사이에 가장 높으며, 그 이후에 다소 낮아지고 대략적인 취침 시각인 10-12시에 낮아지는 패턴을 알 수 있다. 이는 스트레스 호르몬 코티졸의 24시간 일주기 분비 리듬과 유사하다. 이와 같이 심박변이도를 기초로 한 객관적인 스트레스 지수는 개인이 인식한 주관적인 스트레스와 유의한 상관이 있었다[28]. 이를 통해 보면 피트니스 트래커로 측정한 심박변이도를 근거로 산출한 스트레스 지수가 인체의 스트레스를 객관적으로 나타낼 수 있음을 알 수 있다.

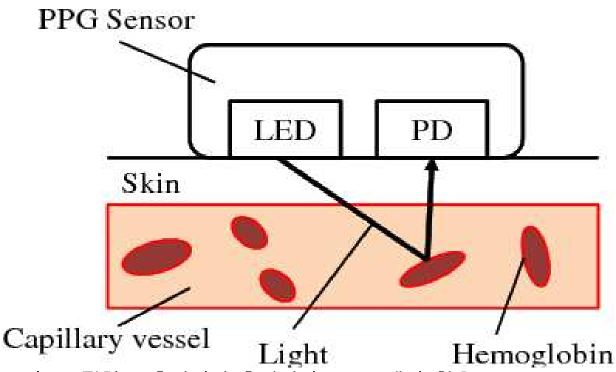


그림 1. 광혈류 측정계의 측정원리: PPG 센서 활용
Fig. 1. Measuring principle of optical blood flow measurement system: use of PPG sensor

0 - 25: Resting state 26 - 50: Low stress 51 - 75: Medium stress 76 - 100: High stress	

그림 2. Garmin Vivosmart 4에서 제공하는 스트레스 수준 정보
Fig. 2. The stress level data of Garmin Vivosmart 4

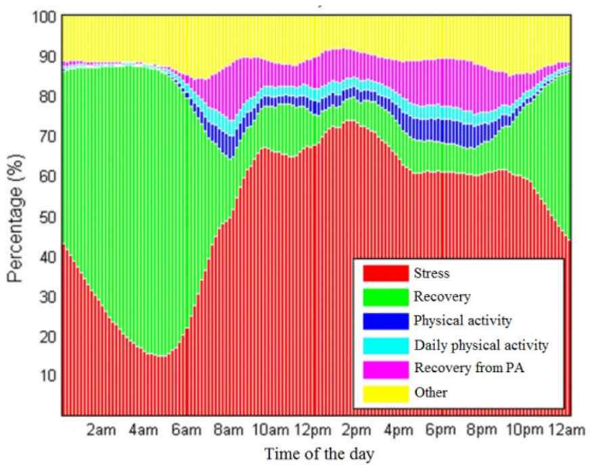


그림 3. 하루 시간대별 다양한 생리적 상태의 프로파일
Fig. 3. The average daily profile of different physiological states during a working day based on the Fristbeat database

광혈류측정계의 신호는 센서의 기울기, 혈액 양, 몸의 위치, 착용자의 움직임에 영향을 받는다[7]. 그러므로 피트니스 트래커로 측정한 심박수 또는 심박변이도를 스트레스 지표로 분석에 사용하고자 할 때에는 신체활동 수준을 함께 고려해야 한다. 또한 피트니스 트래커로 스트레스를 측정할 당시에 착용자가 어떤 심리 상태였는지에 대한 정보 또한 함께 수집할 필요가 있다. 심박변이도에서 저주파 성분이 증가하면 부정적 감정, 고주파 성분이 증가하면 긍정적 감정으로 볼 수 있는데, 기쁨 정서 실험에 참여한 사람들의 경우 고주파수 뿐만 아니라 저주파수 비율도 높이 나타났다[29]. 이는 PPG센서 만으로 감정을 인식하는 데는 한계가 있음을 보여준다. 즉 심박변이도는 긍정적인 스트레스와 부정적인 스트레스 상황에서 차이가 나타나지 않으므로 수치를 해석할 때 참여자가 어떤 상황에 있었는지 알아야 한다. 또한 심박수변이도와 스트레스 간의 관계를 살펴볼 때 전반적인 자율신경 상황, 참여자의 건강 및 심리 상태를 고려해야 한다.

더 나아가 피트니스 트래커로 측정한 스트레스 수준의 의미를 보다 정확히 이해하기 위해서는 장기간 반복측정을 하는 것이 중요하다. Nelson과 Allen(2019)은 1명의 참여자가 Apple Watch 3, Fitbit charge 2, 심전도계를 24시간 동안, 5일간 착용하고 일상생활을 하는 조건에서 값을 측정하여 비교하였다[30]. 그 결과 개인 내 반복 측정 시 대체로 심박수는 충분한 정확도를 보였다. 피트니스 트래커를 활용해 지속적으로 심박수 자료를 측정하고 아웃라이어를 제거하는 등의 단계를 거친다면 충분히 연구에 활용할 수 있을 것이다.

요약하면, PPG 센서가 장착된 피트니스 트래커를 통해 착용자의 스트레스 수준을 측정하고 이를 연구에 적극 활용할 수 있을 것으로 보인다. 심박변이도의 주파수 성분별 및 LF/HF 비율로 분석하거나, 기기에 탑재된 소프트웨어를 통해 도출된 스트레스 점수를 활용할 수 있다. 착용자의 신체활동 수준, 심리 상태 및 측정 당시 맥락에 대한 정보를 함께 수집하고 분석에 활용한다면 피트니스 트래커를 통해 측정한 스트레스 수준에 대한 의미 있는 분석이 가능할 것이다.

2) 피트니스 트래커로 측정한 스트레스 데이터를 연구에 활용한 사례

그간 피트니스 트래커를 스트레스 측정을 위해 활용한 연구들은 주로 타당도 검증에 초점을 맞추었다. 최근에는 피트니스 트래커 혹은 이와 유사한 비침습적인 부착용 기기를 사용해 스트레스를 측정하는 연구가 보고되고 있다.

Hehlmann과 동료들(2021)은 Garmin의 Vivosmart 4 기기를 활용하여 2주간 심리치료 환자 7명의 스트레스 수준을 측정했다. 환자들마다 스트레스 수준의 변화 양상이 달랐는데, 시간의 흐름에 따라 스트레스 수준에 변화가 거의 없는 유형이 있는 반면, 급격하거나 완만한 변화를 보인 유형도 있었다[31]. 이 연구는 디지털 기기를 활용함으로써 1인당 6,720건의 스트레스 측정치를 확보하였고, 이를 분석하여 개인의 스트레스가 급격히 변화하는 지점을 찾았다는 의의가 있다.

Kim과 동료들(2021)은 의사 200여 명을 대상으로 HRV 자료를 토대로 스트레스 점수가 도출되는 피트니스 트래커를 착용하게 하고 수술 전후로 느끼는 스트레스를 살펴보았다. 평소의 기저 스트레스 점수는 28.6점이었으나 수술 직전에는 49.6점, 수술 후에는 55.1점이었으며, 세 점수는 유의한 차이가 있었다. 연구자들은 수술 이후에도 의사가 느끼는 스트레스 수준이 높으므로, 이들의 소진을 예방하고 보다 나은 근무환경을 조성해야 한다고 하였다[32].

이상의 살펴본 두 연구는 스트레스 측정을 위해 피트니스 트래커를 사용한 점이 두드러지는 사례이다. 피트니스 트래커로 측정한 심박변이도 및 이를 기반으로 한 스트레스 데이터에 대한 타당성도 어느 정도 확인되었으므로, 보다 여러 직군을 대상으로 다양한 상황에서 스트레스를 측정하기 위해 피트니스 트래커를 사용할 수 있을 것이다.

3-2 보행수

1) 피트니스 트래커의 보행수 측정 원리 및 타당성

보행수를 측정하는 전통적인 장비는 보수계(pedometer) 또는 액티그래프(actigraph)이다. 초기 기계식 보수계는 괘종시계와 같은 작동원리로 사람의 움직임에 따라 추가 앞뒤로 움직이며 걸음 수를 측정했다. 액티그래프는 가속도계, 시계 또는 타이머, 비활성 메모리, low-pass filter의 유닛으로 구성되어 있으며, 이 유닛이 착용자의 움직임을 감지해 보행수를 측정한다. 피트니스 트래커를 통한 착용자의 활동량 측정은 가속도계 센서를 통해 이루어진다. 가속도계(accelerometer)는 움직이는 물체의 가속도나 방향을 측정함으로써 사용자의 위치나 동작을 인식하여 활동량, 걸음 수, 에너지 소비량, 수면패턴을 측정할 수 있다. 피트니스 트래커에는 가속도계와 더불어 중력 가속을 계산해 활동 유형 측정을 도와주는 자이로스코프(gyroscope), 자이로스코프의 정확도를 개선하는 자력계(magnetometer)가 기본으로 탑재된다.

피트니스 트래커로 측정한 보행수는 일부 연구에서 표준 기기의 값에 비해 오류가 있었다[33]. 한편, 피트니스 트래커는 연구기기만큼 임상 연구에 적합하지는 않지만 수기로 카운트한 보행수에 대한 에러가 10-15% 수준이며 이는 행동 변화를 추적하기에는 적절한 수준이라는 의견도 있다[34]. 종합하면, 피트니스 트래커는 보행수를 측정하는 표준 기계만큼 정확하지는 않지만 연구에 활용될 가능성은 충분하다고 보인다.

그림 4는 피트니스 트래커 화면 및 연동된 어플리케이션에서 보행수 정보가 어떻게 나타나는지를 보여준다. 하루의 총 보행수가 기기 화면에 나타나며, 소모된 칼로리, 이동한 거리, 최근 며칠간의 보행수 평균을 함께 보여주기도 한다. 보다 세부적으로 시간대별 보행수를 확인할 수도 있다.

2) 피트니스 트래커를 활용한 보행수 연구 사례

피트니스 트래커로 측정한 보행수를 연구에 분석한 사례를

살펴보면, 주로 활동량 개선 프로그램을 실시하면서 활동량 측정을 위해 피트니스 트래커를 사용한 경향이 있다. 일례로 Hooke와 동료들(2016)은 암 관련 피로 질환을 앓고 있는 6-15세 아동을 대상으로 2주간 코칭을 받고 3일간 기저 스텝수를 측정한 후, 개인 맞춤화된 보행수 목표를 설정하고 달성해보는 중재 프로그램을 2주간 실시했다. 이 때 피트니스 트래커를 활용해 보행수를 측정했는데, 보행수가 높을수록 피로도는 낮게 나타났다. 연구자들은 프로그램의 효과가 분명함을 밝히며 피트니스 트래커를 연구에 사용할 가능성이 높다고 제시했다[35].

Schaben과 Furness(2018)는 대학생의 활동량 개선을 위한 프로그램의 효과를 검증하기 위하여, 12주간 대학생들이 피트니스 트래커(Fitband, Garmin Vivofit)를 착용하고 자신의 보행수를 스스로 확인하게 하고, 실험 기간 동안 보행수의 변화가 있는지 살펴봤다. 해당기간 동안 보행수의 변화는 유의하지 않았지만, 기기 착용과 함께 건강 교육을 실시하는 것은 대학생들이 스스로 건강 관리를 하도록 하는데 도움이 되었다[36].

이상 살펴본 두 사례는 피트니스 트래커가 보행수를 측정하고, 착용자의 건강을 관리하는데 도움이 됨을 보여준다. 즉 피트니스 트래커로 측정한 보행수 자료는 연구에 적극 활용될 수 있다. 보행수는 스트레스의 직접적인 지표는 아니지만, 활동량이나 업무강도를 보여주는 보조 자료로서 스트레스 연구에서 적극 활용될 수 있을 것이다.

3-3 수면

1) 피트니스 트래커에서 수면 측정원리 및 타당성

수면 특성을 측정하는 대표적인 방법으로는 수면다원검사(polysomnography, PSG)를 들 수 있다. 이는 하룻밤 검사실에서 잠을 자며 이루어지는 검사로, 뇌전도, 안전도, 근전도, 심전도, 말초산소포화도, 호흡 등을 기록하며 검사자의 수면장애를 진단하고 이와 관련된 요인을 평가한다. 수면다원검사는 정확도가 높고 임상에 활용할 수 있다는 장점이 있으나, 비용과 시간의 소요가 크다는 단점이 있다.

피트니스 트래커는 탑재된 액티그래프를 활용해 수면 특성을 측정한다. 액티그래프는 손목에 착용하여 수면 관련 지표를 추정할 수 있는 신체의 움직임을 기록하고 이를 컴퓨터 프로그램의 특정 알고리즘으로 해석하는 도구이다. 액티그래프는 인체의 동작 속도와 방향을 감지하는 가속도계를 활용해 수면과 각성을 판독하는 것으로, 주로 참여자가 손목에 착용하고 생활하는 중에 수면 자료를 수집한다. 피트니스 트래커에서 측정하는 수면 자료의 예시는 그림 5와 같다. 기기마다 다르지만 대부분 수면 길이와 수면단계(기상, REM, 가벼운 수면, 깊은 수면)를 측정해 준다.

de Zambotti와 동료들(2016)은 피트니스 트래커(Fitbit)와 수면다원검사(PSG)로 수면 특성 값을 비교한 결과, 전반적으로 피트니스 트래커와 PSG의 결과가 잘 일치하며 건강한 집단에서는 적절한 도구라고 보았다[37].

그림 4. 피트니스 트래커에서 제공하는 보행수 정보 사례(Garmin)
Fig. 4. An example of pedometer data presented by a fitness tracker (Garmin)

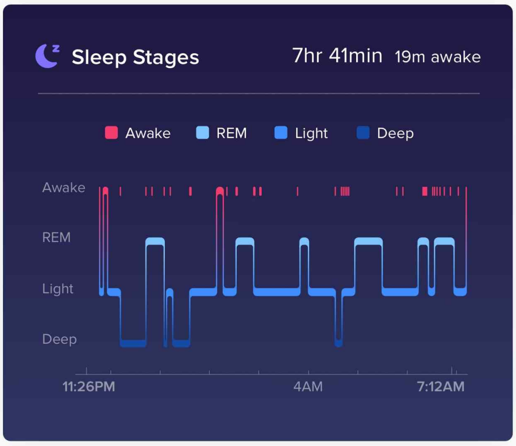


그림 5. 피트니스 트래커에서 제공하는 수면 정보 사례(Fitbit)
Fig. 5. An example of sleep data presented by a fitness tracker (Fitbit)

피트니스 트래커는 수면의 질, 수면 단계나 장애측정의 정확도는 다소 낮지만 수면 시간 측정에서는 침대 센서나 비디오 촬영 기법만큼 높은 정확도를 보였다[38]. 또한 피트니스 트래커로 측정한 수면 자료는 천식 증상, 혈압, 기분 등의 건강 특성과 관련이 있다[39]. 이는 피트니스 트래커로 획득한 수면 지표가 예측 타당도를 지님을 보여주는 근거이다. 이상을 통해 볼 때, 피트니스 트래커는 임상적 수면 문제를 가진 집단이 아닌 경우를 제외하고 일반 집단의 수면 시간을 측정할 때는 타당도가 높은 편이라고 할 수 있다.

2) 피트니스 트래커를 활용한 수면 연구 사례

최근 웨어러블 기기를 사용해 수면을 측정하고, 이를 보다 다양한 변수와 연결지어 본 연구들이 시도되고 있다. 20대 남자 대학생 27명을 대상으로 웨어러블 기기 일주일간 착용하

게 했을 때 신체활동량과 운동시간은 긍정정서, 기분상태, 삶의 만족도 등과 유의한 정적 관계가 있었고 수면 중 뒤척임 회수와 부정 정서는 부적 관계를 보였다[40]. Azimi와 동료들(2019)은 임산부 13명을 대상으로 6개월간, 한 달에 한 번씩 웨어러블 기기를 착용하게 하여 임신 2기의 중반에 비해 임신 후기와 출산 후에 수면 불규칙성이 증가함을 밝혔다. 연구자들은 이를 통해 웨어러블 기기가 임신 기간 동안의 수면 장애를 감지하고 개별적이고 효과적인 케어를 하는데 도움이 된다고 주장했다[41].

이상의 내용을 통해 볼 때, 웨어러블 기기로 수면 특성을 측정하고 이를 연구에 활용하는 방안은 유망한 편이다. 비록 웨어러블 기기가 임상 또는 연구 목적으로 개발된 것은 아니지만, 수면 길이 등은 웨어러블 기기로 측정한 값도 충분히 정확함을 알 수 있다. 그간 피트니스 트래커로 수면을 측정한 연구들은 대체로 타당화에 초점을 두고 있는데, 앞으로 다학제적인 연구를 통해 수집한 정보를 토대로 궁극적인 행동 중재 및 변화를 이끌어내는데 활용할 수 있을 것이다. 향후 다양한 연령대 및 직업군을 대상으로 웨어러블 기기로 수면 특성을 측정하고 이를 또 다른 건강 지표와 연결하여 살펴본다면 스트레스 관련 연구의 새로운 방향을 열 수 있을 것이다.

Ⅳ. 스트레스 연구에서 피트니스 트래커 활용 방안

피트니스 트래커는 착용자의 생활을 개선하고 건강을 증진하는데 도움이 되는 것을 목적으로 한다. 피트니스 트래커가 점점 더 대중화되어가고 있지만, 이를 통해 얻은 정보로 어떤 함의를 이끌어낼 수 있는지에 대해서는 여전히 밝혀진 바가 적다. 이 연구는 피트니스 트래커의 잠재력을 최대화 하는 방안 중의 하나로 스트레스에 연구에 사용할 가능성을 검토해 보고자 했다. 기존의 스트레스 연구는 엔지니어링 모델에 입각하여 스트레스원에 집중한 경향이 있고, 설문지를 이용해 회상 방식으로 응답하는 방식으로 스트레스의 인지 및 심리적인 측면에 치중하고 스트레스를 다각도로 장기간에 걸쳐 살피지 않았다는 한계가 있다. 피트니스 트래커는 다양한 생리지표를 하루의 다양한 시간대에 걸쳐서, 오랜 기간 동안 수집할 수 있으므로, 기존 스트레스 연구의 한계를 보완하고 새로운 지평을 여는데 핵심 역할을 할 것으로 보인다. 이에 본 연구에서는 피트니스 트래커로 측정 가능한 스트레스 관련 생리 지표로 심박수/심박수변이도, 보행수, 수면관련 정보수집 가능성에 주목하였다. 이에 따라 피트니스 트래커로 측정한 이 지표들이 표준 기기와 비교했을 때 측정치의 타당도가 확보되는지를 살펴보고, 이 지표를 수집하고 분석한 연구 사례를 종합하였다.

분석 결과, 피트니스 트래커는 연구 용도로 사용하기에 충분히 타당하며, 이를 활용한 연구가 2-3년 전부터 보고되고 있고, 앞으로도 활용할 수 있을 것으로 예상된다. 심박수와 심박변이도의 경우 전통적으로는 심전도 검사로 측정하는데, 이는 정확도가 높으나 비용과 기록시간이 소요된다. 반면 광혈류측정계로 심박 관련 활동을 측정하는 피트니스 트래커는 심전도 검사에 비해 정확도가 낮긴 하나, 상대적으로 비용이 저렴하고 연구 참여자가 일상 생활을 하는 동안 장기간 반복측정을 할 수 있다는 장점이 있다. 착용자의 신체 활동 수준, 심리 상태 및 측정 당시 맥락에 대한 정보를 수집하여 분석 시 고려한다면 피트니스 트래커를 통해 얻은 심박수 및 심박변이도 자료를 연구에 충분히 활용할 수 있을 것이다. 보행수는 활동량을 나타내는 지표로, 일일 보행수가 높을수록 전반적으로 건강에 긍정적으로 관련되나 특정 시간에 지나치게 높은 보행수는 피로 및 스트레스와 관련될 수도 있다. 피트니스 트래커는 가속도계를 통해 착용자의 보행수를 측정한다. 이렇게 측정된 값이 표준 기기에 비해 오차가 있긴 하지만 활동을 추적하는데 적절하다는 의견도 있다. 피트니스 트래커를 활용해 활동량을 개선하고 궁극적으로 건강을 도모하는데 응용한 연구 사례가 있다. 수면 특성은 스트레스 및 건강과 밀접한 관련을 지닌 요인으로, 충분하고 질이 높은 수면이 스트레스를 낮춘다. 피트니스 트래커는 액티그래피를 활용해 수면 정보를 수집하는데, 이는 전통적인 수면다원검사에 비해 시간과 비용이 적게 든다는 장점이 있다. 피트니스 트래커는 수면다원검사에 비해 정확도가 낮지만, 임상 측면에서 수면에 문제가 있는 집단이 아닌 경우에, 단순 수면 시간을 측정할 때에는 충분한 타당도를 갖추었고 볼 수 있다.

이상의 내용을 토대로, 추후 스트레스 연구에서 피트니스 트래커 활용에 대한 제언을 하면 다음과 같다. 첫째, 피트니스 트래커는 기존 스트레스 연구의 한계를 극복하고, 새로운 연구 지평을 여는데 중요한 역할을 할 것으로 전망된다. 전통적으로 스트레스에 대한 연구에서는 응답자의 직장(일)이나 가족 영역 또는 전체적인 삶에 대한 스트레스를 전반적인 자기보고에 의존하는 경우가 많았다. 즉 기존의 연구들은 응답자들에게 '모든 것을 고려해 볼 때, 요즘 어떻습니까? 와 같은 질문으로 스트레스를 측정했다. 하지만, 이러한 측정 방식은 응답자로 하여금 자신의 삶을 여러 측면에서 살펴보고 판단하여 응답을 해야 하는 인지적 부담을 주는 방법이며, 자기보고식 질문지에서 유발될 수 있는 왜곡과 측정 오류의 문제가 나타날 수 있다. 특히 전반적으로 자기에 대해 보고하는 방식(global self-report)은 특정 일화들을 회상해 내야 하는 기억 과정(memory process)과 응답자가 특정 방식으로 일상에서 다양하게 경험하는 순간의 경험들을 조합해서 응답하는 집합 과정(aggregation process)이 포함된다. 우리의 삶의 질이나 삶의 의미에 대한 평가는 전반적 평가에만 기초한 것이 아니라 일상의 순간순간 느끼는 반응인 정서 경험들이 축적되어 나타난 결과이다. 따라서 일상생활의 순간적인 경험이나 현상을 탐색하는 새로운 방법이 필요하다. 이러한 점에서 웨어러블 기기를 활용한 접근은 스트레스와 관련된 생체 지표를 실시간으로 수집할 수 있는, 매우 실용적이고 편리한 방법이 될 수 있다. 그러므로 이후 스트레스 연구에서 다양한 집단을 대상으로 피트니스 트래커를 활용하여 스트레스와 관

련된 여러 지표(심박변이도 기반의 스트레스 지수, 보행수, 수면특성)를 살펴보고, 개인별 및 시간의 변화에 따라 어떠한 양상을 보이는지 다각도로 밝혀보아야 할 것이다.

둘째, 스트레스 연구에서 피트니스 트래커는 특히 참여자의 생활을 실제로 개선하여 건강을 증진하는데 기여할 수 있다는 점에서 의의를 지닌다. Shin과 동료들(2019)은 피트니스 트래커를 활용한 463편의 연구를 종합하여 주요 테마를 도출하였는데, 이는 환자의 치료, 행동 변화, 수용, 셀프 모니터링 등이었다. 즉 피트니스 트래커를 활용한 스트레스 연구는 스트레스의 양상을 측정하고 기술하는데 그치지 않고, 연구 참여자가 실시간으로 자신의 스트레스 수준을 지각하고(self-awareness), 자신의 생활 양식을 건강에 바람직한 쪽으로 스스로 변화시켜 나가는데 도움을 줄 수 있다[42]. 즉 피트니스 트래커를 활용한 연구는 기존의 연구자 중심 한계에서 벗어나, 연구자와 참여자가 상생할 수 있는 새로운 연구 지평을 열 것으로 기대된다. 한편, 수집된 개인 정보를 보호하기 위해 주의를 기울일 필요가 있다. 연구 참여자는 피트니스 트래커를 일정 기간 동안 착용하며, 본인의 휴대전화 어플리케이션으로 기록된 데이터를 확인할 수 있다. 연구자가 참여자의 데이터에 접근하기 위해서는 참여자가 연구 목적으로 사용되는 계정을 사용하도록 하거나, 참여자의 개인 개정을 일정 기간 동안 연구 목적으로만 사용하도록 하는 등, 협의가 필요하다. 연구 시작 전에 참여자에게 이러한 절차를 충분히 설명하고 자료 수집 및 공유 방식에 동의를 얻어야 할 것이다.

셋째, 피트니스 트래커를 활용한 스트레스 연구는 기존의 스트레스 연구보다 개인별 경향을 보다 심도 있게 분석하는 기법을 필요로 한다. 피트니스 트래커는 착용자가 기기를 착용하는 동안 장기간에 걸쳐 수집하므로, 기존의 스트레스 연구에 비해 개인당 수집되는 자료의 규모가 상당히 크다. 예를 들어 Hehlmann과 동료들(2021)의 연구에서는 참여자가 2주간 피트니스 트래커를 착용하게 하고 매 3분마다 스트레스 수준을 기록하였는데, 참여자마다 6,720개의 자료가 수집되었다. 이와 같이 큰 규모의 자료를 정리하기 위해 알고리즘을 개발할 필요가 있다. 또한 개인별로 반복 측정된 자료에서 의미를 찾기 위해서는 집단의 평균 중심 경향을 밝히는 전통적인 통계 기법으로는 한계가 있다. 참여자 개인별로 데이터의 양상이 어떠한지 분석하거나, 데이터의 양상이 유사한 군집을 도출하는 방식등 보다 데이터를 심도 있게 분석하는 통계 기법을 시도할 필요가 있다.

Ⅴ. 결 론

본 연구에서는 스트레스 연구의 전통적 관점인 스트레스를 유발하는 원인에 초점을 두는 엔지니어링 모형이 갖는 한계와 대안적인 관점으로 제시되는 생리적 모형에서 제기되는 개인의 신경생리학 차원의 반응을 고려해 볼 때 스트레스 연구에서 피트니스 트래커를 활용한 연구 동향과 향후 활용 가능성을 살펴보았다.

생리적 모형 관점에서 스트레스는 어떤 자극에 대한 신체의 비 특이적 반응으로 접근되어 왔으며, 개인의 반응으로서 생체지표를 활용한 연구가 이루어져왔다. 이러한 접근은 심박변이도 측정과 같은 비침습적 방식으로 스트레스를 측정할 수 있는 한다는 장점이 있지만, 검사실에서 실시되는 일회성 측정 및 낯선 비생활 환경에서 측정한다는 생태학적 타당성의 문제가 제기되어 왔다. 본 연구에서 스트레스와 관련된 생체지표인 심박변이도, 보행수, 수면을 측정하고 활용하는데 있어 피트니스 트래커를 활용한 일상적 측정의 타당성을 살펴볼 수 있었다.

피트니스 트래커를 활용한 연구를 종합해 볼 때 일상생활에서 누적된 생체지표를 수집할 수 있는 신뢰로운 방법으로 보이며, 개인의 항상성을 기준으로 판단할 수 있는 개인화된 모니터링 기능이 수행 가능한 잠재력을 살펴볼 수 있었다. 향후 연구에서는 피트니스 트래커를 활용한 개인화된 모니터링과 직업 스트레스와 같은 특정 상황에서의 반응을 실시간 목적표집이 가능하다는 점을 고려할 수 있다. 이러한 접근은 환경에 대한 개인의 반응으로서 스트레스를 접근할 수 있다는 점에서 생태학적 순간을 타당하게 측정할 수 있는 접근이 될 수 있다.

또한 피트니스 트래커를 활용한 스트레스 관련 생체지표 수집은 장기간 이루어질 수 있으며 대량의 데이터를 측정할 수 있다는 점에서 빅데이터로서 활용가치가 있다. 이러한 점은 인체가 일시적인 스트레스원에 대해서 코티졸 분비, 심장박동수 증가와 같은 항상성 유지 반응을 통해 유연하게 대처하고 적응할 수는 적응기전을 가지지만[43], 만성적인 스트레스가 유발하는 부정적 영향을 고려해 볼 때 누적된 데이터를 토대로 더욱 의미있는 결과를 도출할 수 있다는 학문적 의의를 갖는다. 또한 불면증, 어지러움과 같은 신체 불편함을 느끼고 우울, 만성피로와 같은 건강문제를 유발하지만 의학적 근거가 없는 신체화(somatization) 증상[44]과 같은 개인 스트레스 관리 및 관련 연구 분야에 폭 넓게 활용될 수 있을 것이다.

더 나아가 향후 연구에서는 생체지표가 갖는 의미를 임상적 측정지표 및 설문지 기반의 자기보고 방식의 심리적 측정지표 결과와 비교하고 함께 보완적으로 활용하는 방안이 더욱 모색될 필요가 있다. 동일한 자극을 받더라도 개인의 인지과정이나 당시 감정상태에 따라 스트레스 반응이 다르게 나타나므로 스트레스 평가에 있어서 개인의 주관적 인지상태를 포괄한 관점에서 접근되는 다양한 융합연구가 가능할 것으로 전망된다. 피트니스 트래커를 연구에 활용할 때, 이를 통해 수집된 생체 정보에 영향을 줄 수 있는 여러 요인에 대한 정보를 함께 수집하거나 통제한다면 의미 있는 결과를 도출할 수 있을 것이다. 특히 코로나19의 상황에서 비대면으로 자료를 수집할 수 있다는 점에서 연구자와 참여자 모두에게 유용한 측면을 가진다.

뿐만 아니라 피트니스 트래커를 활용한 융합적 스트레스 연구는 참여자의 건강 증진 및 생활 개선을 목적으로 한다는 점에서 중요한 의의를 지닌다. 피트니스 트래커와 같은 웨어

러블 기기는 사용자들의 삶에 중요한 영향을 미치는 도구로서 자리매김할 것으로 전망된다. 피트니스 트래커는 별도의 조작 없이 착용을 하는 것만으로 개인의 생체정보를 수집, 저장, 전송 및 산출하여 실시간으로 정보를 누적하여 살펴볼 수 있게 해 주는 실용적 의의도 찾아볼 수 있다. 이를 활용하여 일상적인 개인의 스트레스 관리와 정신건강을 지키는 접근도 모색할 수 있을 것이다.

피트니스 트래커를 활용하여 정보를 수집한 연구 시에는 개인 정보 보호를 위해 주의를 기울이며 방대한 양의 자료를 분석할 적절한 방법을 찾을 필요가 있다. 이러한 점에 유의하여, 피트니스 트래커를 활용하여 스트레스 연구의 새로운 지평을 열고 참여자의 건강을 도모하는데 기여하는 연구가 활발해지기를 기대한다.

이 연구는 문헌 조사 방법을 사용하여, 실증적인 분석을 하지 못하였다는 한계가 있다. 추후 연구에서는 피트니스 트래커를 활용하여 직접 자료를 수집하고 분석하여, 이를 통해 얻은 자료의 의미를 보다 구체적으로 밝혀야 할 것이다. 또한 스트레스 연구에서 피트니스 트래커를 활용한 사례를 최대한 찾고자 하였으나, 누락된 사례가 있을 가능성도 있다. 추후 연구를 통해 또 다른 연구 사례를 소개하고, 이 연구의 결과와 비교 및 검토해볼 필요가 있다.

그럼에도 불구하고 이 연구는 다음과 같은 의의를 지닌다. 피트니스 트래커는 그간 건강, 의료관리, 기술 및 디자인 측면에서 접근이 되어왔고 스트레스를 측정하는 연구 도구로서 피트니스 트래커를 검토한 시도는 많지 않았다. 이 연구는 피트니스 트래커가 스트레스를 측정하는 연구 도구로서 활용될 가능성을 검토하고 사례를 살펴보았다. 이를 통해 융합 연구에서 피트니스 트래커를 적극 활용하고, 주관적 인식을 기반으로 하던 스트레스 연구가 다양한 생체 지표를 분석할 수 있도록 하는데 기여한다는 학문적 의의가 있다. 또한 이 연구는 피트니스 트래커로 측정 가능한 스트레스 관련 생체 지표의 원리, 타당성 및 사례를 검토하고 제시하였다. 이는 피트니스 트래커를 연구도구로 활용하고자 하는 사람들이 이와 관련된 핵심 쟁점을 이해하고 쉽게 접근하도록 한다는 실무적 의의가 있다.

참고문헌

[1] A. Henriksen, M. H. Mikalsen, A. Z. Woldaregay, M. Muzny, G. Hartvigsen, L. A. Hopstock, and S. Grimsgaard, "Using Fitness Trackers and Smartwatches to Measure Physical Activity in Research: Analysis of Consumer Wrist-Worn Wearables," *Journal of Medical Internet Research*, Vol. 20, No. 3: e110, March 2018. doi: 10.2196/jmir.9157

[2] Grand View Research. Fitness Tracker Market Size, Share & Trends Analysis Report By Type (Smartwatches, Smart Bands), By Application (Glucose Monitoring, Sports), By Distribution Channel (Online, Offline), And Segment Forecasts, 2021 – 2028 [Internet]. Available: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/fitness-tracker-market

[3] J. M. Pevnick, K. Birkeland, R. Zimmer, Y. Elad and I. Kedan, "Wearable technology for cardiology: An update and framework for the future," *Trends in Cardiovascular Medicine*, Vol. 28, No. 2, pp. 144-150, Feburary 2018. https://doi.org/10.1016/j.tcm.2017.08.003

[4] C. S. Lim, "A Study on the analysis of Technology and Services Issues for wearable Devices and Future Development Direction," *Journal of Korean Institute of Next Generation computing*, Vol. 13, No. 4, pp. 81-89, August 2017.

[5] S. Wilson. Wearable Market to Be Worth $25 Billion by 2019 [Internet]. Available: https://www.ccsinsight.com/press/company-news/2332-wearables-market-to-be-worth-25-billion-by-2019-reveals-ccs-insight/

[6] Y. R. Lee, and J. Jung, "Study on Wearable Health Care Devices Function Using Quantified Self - Focusing on Cardio-cerebrovascular Disease," Design convergence Study, Vol. 16, No. 5, pp. 1-20, October 2017.

[7] S. Hwang, J. Seo, H. Jebelli, and S. Lee, "Feasibility analysis of heart rate monitoring of construction workers using a photoplethysmography(PPG) sensor embedded in a wristband-type activity tracker," *Automation in Construction*, Vol. 71, No. 2, pp. 372-381, November 2016. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.029

[8] Y. Kumar, K. Sood, S. Kaul, & R. Vasuja, "Big Data Analytics and Its Benefits in Health Care In: Kulkarni A. et al. (eds) Big Data Analytics in Healthcare. *Studies in Big Data*, vol 66. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31672-3_1

[9] Merriam-Webster Dictionary. Stress [Internet]. Available: https://www.merriam-webster.com/dictionary/stress

[10] R. S. Lazarus, "From psychological stress to the emotions: A history of changing outlooks," *Annual Review of Psychology*, Vol. 44, No. 1, pp. 1-22, February 1993.

[11] H. Selye, "The General-Adaptation-Syndrome," *Annual Review of Medicine*, Vol. 2, pp. 327-342, Feburary 1951.

[12] B. S. McEwen, and E. Stellar, "Stress and the Individual Mechanisms Leading to Disease," *Archieves of Internal Medicine*, Vol. 153, No. 18, pp. 2093-2101, September 1993. doi:10.1001/archinte.1993.00410180039004

[13] M. Del Giudice, B. J. Ellis, and E. A. Shirtcliff, "The Adaptive Calibration Model of Stress Responsivity," *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, Vol. 35, No, 7,

pp. 1562-1592, June 2011.
https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2010.11.007
[14] C. Kyriacou, and J. Sutcliff, “A Model of Teacher Stress,” *Educational Studies*, Vol. 4, No. 1, pp. 1-6, March 1978. https://doi.org/10.1080/0305569780040101
[15] American Heart Association. All About Heart Rate (Pulse) [Internet]. Available: https://www.heart.org/en/health-topics/high-blood-pressure/the-facts-about-high-blood-pressure/all-about-heart-rate-pulse
[16] T. G. Vrijkotte, L. J. Van Doornen, and E. J. De Geus, “Effects of Work Stress on Ambulatory Blood Pressure, Heart Rate, and Heart Rate Variability,” *Hypertension*, Vol. 35, No. 4, pp. 880-886, April 2000. https://doi.org/10.1161/01.HYP.35.4.880
[17] J. Taelman, S. Joachim, A. Spaepen, & S. Van Huffel, “Influence of mental stress on heart rate and heart rate variability,” in *Proceeding of the 4th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering,* Berlin and Heidelberg, pp. 1366-1369, November 2008. DOI: 10.1007/978-3-540-89208-3_324
[18] A. Uusitalo, T. Mets, K. Martinmäki, S. Mauno, U. Kinnunen, and H. Rusko, “Heart rate variability related to effort at work,” *Applied Ergonomics*, Vol. 42, No. 6, pp. 830-838, November 2011. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.01.005
[19] Firstbeat Technologies Ltd. Stress and recovery analysis method based on 24-hour hear rate variability [Internet]. Available: https://assets.firstbeat.com/firstbeat/uploads/2015/10/Stress-and-recovery_white-paper_20145.pdf
[20] H. M. Seong, J. S. Lee, W. S. Kim, H. S. Lee, Y. R. Yoon, and S. T. Min, “The Analysis of Mental Stress using Time-Frequency Analysis of Heart Rate Variability Signal,” *Journal of Biomedical Enginnering Research*, Vol. 25, No. 6, pp. 581-587, December 2004.
[21] W. E. Kraus, K. F. Janz, K. E. Powell, W. W. Campbell, J. M. Jakicic, R. P. Troiano, K. Sprow, A. Torres, K. L. Piercy, and 2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee, “Daily Step Counts for Measuring Physical Activity Exposure and Its Relation to Health,” *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Vol. 51, No. 6, pp. 1206-1212, June 2019. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001932
[22] M. S. Ha, J. P. Lee, S. H. Kim, S. M. Yoo, and J. K. Oh, “Effect of Steps Per Day Associated with Occupational Style on Body Fat Index and Serum Lipid Levels in Middle Aged Men,” *Korea Sport Research,* Vol. 17, No. 1, pp. 383-392, Feburary 2006.
[23] S. H. Lee, J. S. Park, E.K. Kim, “Assessment of Daily Steps, Physical Activities and Activity Coefficient of Policemen who Do Shift-Work”, *Journal of Nutrition and Health*, Vol.40 No.6, pp. 576-583, July 2007.
[24] K. S. Han, L. Kim, and I. Shim, “Stress and Sleep Disorder,” *Experimental Neurobiology,* Vol. 21, No. 4, pp. 141-150, December 2012. doi: 10.5607/en.2012.21.4.141
[25] K. Lee, I. Kwon, and Y. Cho, “Relationships Between Quality of Sleep and Job Stress Among Nurses in a University Hospital,” *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society,* Vol. 12, No. 8, pp. 3523-3531, August 2011. https://doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.8.3523
[26] S. Y. Kil, W. O. Oh, Y. J. Heo, and M. H. Suk, “Mediating Effects of Sleep Quality on the Relationship between Job Stress and Stress Response of Shift-Working Nurses,” *Journal of Korean Biological Nursing Science,* Vol. 21, No. 4, pp. 266-274, November 2019. https://doi.org/10.7586/jkbns.2019.21.4.266
[27] H. Fukushima, H. Kawanaka, M. S. Bhyiyan, and K. Oguri, “Estimating heart rate using wrist-type Photoplethysmography and acceleration sensor while running,” in *34th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, San Diego: CA, pp. 2901-2904, 2012. DOI: 10.1109/EMBC.2012.6346570
[28] T. Föhr, A. Tolvanen, T. Myllymäki, E. Järvelä-Reijonen, S. Rantala, R. Korpela, K. Peuhkuri, M. Kolehmainen, S. Puttonen, R. Lappalainen, H. Rusko, and U. M. Kujala, “Subjective stress, objective heart rate variability-based stress, and recovery on workdays among overweight and psychologically distressed individuals: a cross-sectional study,” *Journal of Occupational Medicine and Toxicology,* Vol. 10, No. 1, pp. 1-9, October 2015. https://doi.org/10.1186/s12995-015-0081-6
[29] J. Y. Choi, and H. S. Kim, “Study on Heart Rate Variability and PSD Analysis of PPG Data for Emotion Recognition,” *Journal of Digital Contents Society,* Vol. 19, No. 1, pp. 103-112, January 2018. https://doi.org/10.9728/dcs.2018.19.1.103
[30] B. W. Nelson, and N. B. Allen, “Accuracy of Consumer Wearable Heart Rate Measurement During an Ecologically Valid 24-Hour Period: Intraindividual Validation Study,” *JMIR mHeahlth and uHealth,* Vol. 7, No. 3, e10828, March 2019. doi: 10.2196/10828c
[31] M. I. Hehlmann, B. Schwartz, T. Lutz, J. M. Gómez Penedo, J. A. Rubel, and W. Lutz, “The Use of Digitally Assessed Stress Levels to Model Change Processes in

CBT - A Feasibility Study on Seven Case Examples," *Frontiers in Psychiatry*, Vol. 12: 613085, March 2021. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2021.613085

[32] J. J. Kim, C. S. Lee, W. Koh, J. H. Bae, S. R. Han, I. K. Lee, and Y. S. Lee, "Assessing the Stress of Surgeons and Surgical Residents Using a Wearable Smart Device," *Research Square,* Vol. 14, January 2021. DOI: 10.21203/rs.3.rs-141190/v1

[33] M. Y. Lee, and J. Y. Choi, "Accuracy of wearable devices to estimate physical activity levels," *The Korean Journal of Measurement and Evaluation in Physical Educaition and Sport Science,* Vol. 17, No. 2, pp. 49-60, August 2015.

[34] L. P. Toth, S. Park, W. L. Pittman, D. Sarisaltik, P. R. Hibbing, A. L. Morton, C. M. Springer, S. E. Scrouter, and D. R. Bassett, "Validity of Activity Tracker Step Counts during Walking, Running, and Activities of Daily Living," *Translational Journal of the American College of Sports Medicine,* Vol. 3, No. 7, pp. 52-59, April 2018. doi: 10.1249/TJX.0000000000000057

[35] M. C. Hook, L. Gilchrist, L. Tanner, N. Hart, and J. S. Withycombe, "Use of a Fitness Tracker to Promote Physical Activity in Children With Acute Lymphoblastic Leukemia," *Pediatric Bood and Cancer,* Vol. 63, No. 4, pp. 684-689, January 2016. https://doi.org/10.1002/pbc.25860

[36] J. A. Schaben, and S. Furness, "Investing in college students: the role of the fitness tracker," *Digital Health,* Vol. 4, pp. 1-10, April 2018. DOI: 10.1177/2055207618766800

[37] M. de Zambotti, F. C. Baker, A. R. Wiloughby, J. G. Godino, D. Wing, K. Patrick, and I. M. Colrain, "Measures of Sleep and Cardiac Functioning During Sleep using a Multi-Sensory Commercially-Available Wristband in Adolescents," *Physiology and Behavior,* Vol. 158, pp. 143-149, May 2016. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.03.006

[38] R. Robbins, A. Seixas, L. W. Masters, N. Chanko, F. Diaby, D. Viera, and G. Jean-Louis, "Sleep Tracking: a Systematic Review of the Research Using Commercially Available Technology," *Current Sleep Medicine Reports,* Vol. 5, 156-163, July 2019. https://doi.org/10.1007/s40675-019-00150-1

[39] R. Robbins, A. Seixas, L. W. Masters, N. Chanko, F. Diaby, D. Viera, and G. Jean-Louis, "Sleep Tracking: a Systematic Review of the Research Using Commercially Available Technology," *Current Sleep Medicine Reports,* Vol. 5, 156-163, July 2019. https://doi.org/10.1007/s40675-019-00150-1

[40] H. Y. Ahn, J. H. Ahn, Y. S. Kim, and S. H. Kwon, "The Effect of Physical Activities on the Mood State and Sleep: Analysis Using Data from Wearable Devices," *Korean Journal of Physical Education,* Vol. 57, No. 6, pp. 87-99, December 2018.

[41] I. Azimi, O. Olugbenga, S. Labbaf, H. Niela-Vilén, A. Axelin, N. Dutt, P. Liljeberg, A. and M. Rahmani, "Personalized Maternal Sleep Quality Assessment: An Objective IoT-based Longitudinal Study," *IEEE Access,* Vol. 7, pp. 93433-93447, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2927781.

[42] G. Shin, M. H. Jarrahi, Y. Fei, A. Karami, N. Gafinowitz, A. Byun, and X. Lu, "Wearable activity trackers, accuracy, adoption, acceptance and health impact: A systematic literature review," *Journal of Biomedical Informatics,* Vol. 93, 103153, May 2019. https://doi.org/10.1016/j.jbi.2019.103153

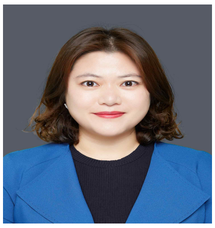
[43] B. S. McEwen, and John C. Wingfield, "What is in a name? Integrating homeostasis, allostasis and stress," *Hormones and Behavior*, Vol. 57, Issue 2, 2010, pp. 105-111, February 2010. https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2009.09.011.

[44] Z. J. Lipowski, "Somatization: The concept and its clinical application," *American Journal of Psychiatry.* Vol. 145, No. 11, pp.1358-1368, November 1988.

이정민(Jungmin Lee)

2012년 : 서울대학교 대학원 (생활과학석사)
2019년 : 서울대학교 대학원 (생활과학박사-아동학)

2019년: 서울대학교 아동가족학과 강사
2020년~2021년: 명지대학교 아동학과 초빙교수
※관심분야 : 직무 스트레스, 생체지표, 보육, 아동발달



김유미(Yu-Mi Kim)

2006년 : 서울대학교 대학원 (생활과학석사)
2015년 : 서울대학교 대학원 (생활과학박사-아동학)

2018년~현 재: 숙명여자대학교 교육대학원 유아교육전공 조교수
※관심분야 : 보육교사, 보육과정, 직무 스트레스, 생체지표