

Physical Function Monitoring Systems for Community-Dwelling Elderly Living Alone: A Comprehensive Review

Sungbae Jo^a, Changho Song^a

^aDepartment of Physical Therapy, College of Health and Welfare, Sahmyook University, Seoul, Republic of Korea

Objective: This study aims to conduct a comprehensive review of monitoring systems to monitor and manage physical function of community-dwelling elderly living alone and suggest future directions of unobtrusive monitoring.

Design: Literature review

Methods: The importance of health-related monitoring has been emphasized due to the aging population and novel corona virus (COVID-19) outbreak. As the population gets old and because of changes in culture, the number of single-person households among the elderly is expected to continue to increase. Elders are staying home longer and their physical function may decline rapidly, which can be a disturbing factor to successful aging. Therefore, systematic elderly management must be considered.

Results: Frequently used technologies to monitor elders at home included red, green, blue (RGB) camera, accelerometer, passive infrared (PIR) sensor, wearable devices, and depth camera. Of them all, considering privacy concerns and easy-to-use features for elders, depth camera possibly can be a technology to be adapted at homes to unobtrusively monitor physical function of elderly living alone. The depth camera has been used to evaluate physical functions during rehabilitation and proven its efficiency.

Conclusions: Therefore, physical monitoring system that is unobtrusive should be studied and developed in the future to monitor physical function of community-dwelling elderly living alone for the aging population.

Key Words: Activities of daily living, Frail elderly, Ambulatory monitoring, Telehealth, Smart homes

서론

노인은 다른 연령에 비해 다양한 질병의 위험성을 보유하며 여러 질병을 동시에 보유할 위험성도 높고 같은 질병에서도 늦은 회복으로 오랜 기간 고통을 받는다[1]. 노화의 진행은 근육의 절대량의 감소와 신체기능의 저하를 발생시키고 이러한 골격근의 전반적인 감소와 근골격 조직의 기능 상실은 운동기능 장애의 직접적인 원인이 된다[2-4]. 이렇게 노인의 운동기능이 상실되면 낙상의 위험이 증가하고 대사기능의 장애를 저하시킨다[3-5]. 특히 낙상은 노인들의 활동과 사회활동의 위축을 초래하여 삶의 질 저하에 직접적인 원인이 된다[6]. 결과적으로 신체의 독립성이 상실되어 사회적인 돌봄의 필요성이 증가하게 된다[7]. 또한, 노화의 진행은 신체 문제뿐만 아니라 정신과 상의 문제를 함께 동반하게

한다. 인지 장애의 발생은 대표적인 노화의 특징이며 심각한 경우 치매나 알츠하이머병과 같은 질병으로 이어질 수 있다[8-11]. 이러한 정신적인 문제는 신체적인 문제를 더욱 어렵게 하며 일상생활 수행능력의 저하로 독립적인 삶을 영위하지 못하게 한다.

한국은 타 선진국에 비해 유례없는 속도로 고령화가 진행되어 2019년 기준 고령인구의 비율이 15%에 도달하였고[12], 2030년에는 초고령사회가 될 것으로 전망된다[13]. 이러한 고령인구의 증가는 평균수명의 증가와 저출산은 물론 비혼 및 저혼과 같은 생활문화의 변화로 인함이며, 노인층의 1인 가구의 증가는 지속적으로 증가할 것으로 예상된다[14]. 그러나 이러한 사회변화에 따른 대비책은 미비한 실정으로, 이는 노인들의 삶의 질을 하락시키며 결과적으로 성공적인 노화(successful aging)를 방해하게 된다[15]. 성공적인 노화란 단순히 수명의

Received: Dec 30, 2021 Revised: Mar 7, 2022 Accepted: Mar 13, 2022

Corresponding author: Changho Song (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5709-3100>)

Department of Physical Therapy

College of Health and Welfare, Sahmyook University, Seoul, Republic of Korea

Tel: *** - **** - **** Fax: +82-2-3399-1638 E-mail: chsong@syu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © 2022 Korean Academy of Physical Therapy Rehabilitation Science

연장뿐만 아니라 생의 의미와 질적인 삶을 영위하는 것으로, 건강하고 장애가 없으며 존엄성이 유지되고 인지기능이 감퇴하지 않는 노년기를 의미한다[16]. 따라서 소외받는 노인들의 인구가 증가하고 있는 현실에서 독거노인들의 만성질환, 영양결핍, 기능장애 등과 같은 건강 문제는 시급하게 해결하여야 하는 당면과제가 되었다[17]. 또한 사회적, 경제적으로 외부 지원을 거부하는 은둔형 독거노인도 꾸준히 증가 추세에 있어 복지 사각지대를 고려한 체계적인 노인 관리가 요구되고 있다[14].

코로나 바이러스(COVID-19) 팬데믹의 여파는 전 세계적으로 사회, 경제, 그리고 의료시스템의 변화를 초래하였다[18]. 세계 각 정부는 전염병의 확산을 막기 위한 노력으로 사회적 거리두기, 의무격리, 학교 폐쇄 등의 강한 제재를 시행하였다[19]. 이러한 위기는 의료시스템의 제공에 있어 전례 없는 어려움을 초래하였지만, 동시에 원격의료(telchealth)의 빠른 성장 또한 유발하였다[18, 20]. 원격의료란 의료제공자와 환자가 대면하지 않고 원격거리에서 의료시스템이 제공되는 모든 활동을 뜻한다[21]. 코로나 바이러스에 취약한 고령자들은 특히 이러한 원격의료 서비스를 통하여 가장 큰 혜택을 누릴 수 있다[22, 23]. 우선, 코로나로 인한 고립이 더욱 심화됨에 따라 고령자에서 나타나기 쉬운 우울과 불안감을 해소하기에 도움이 될 것으로 생각된다. 신체적인 측면에서 자택에 머무는 시간이 증가함에 따라 노인의 근육감소증이 가속화될 우려가 있다[24]. 이는 낙상위험 및 이에 따른 골절과 전반적인 기능감소와 직결된다[25, 26]. 이전 연구에 따르면 원격재활 운동 프로그램이 노인의 근육감소증을 예방하고 하지의 근육량을 증가시키는 것으로 확인된 바 있다[24]. 그럴 뿐만 아니라 원격 모니터링을 통한 노인의 식사량, 활동량, 활력징후 등을 관찰하여 전반적인 신체 및 정신 건강상태를 확인하는 것이 고독사를 예방하고 삶의 질을 증진하는 데 기여할 수 있다고 생각된다.

독거노인들의 건강을 관리하기 위해 다양한 측면에서의 모니터링과 지원이 필요하다. 기본적인 활력징후의 데이터는 물론 기능, 안전, 보안, 사회활동, 인지 및 감각보조 등에 대한 모니터링이 요구된다[27]. 최근 4차산업혁명시대를 대표하는 정보통신기술의 발달로 복지기술을 구현하는 다양한 솔루션들이 개발되었다. 이를 실현하기 위해 적외선센서, 접촉센서, 압력센서, 전류센서, 유량센서 등이 사용되었다[26, 28-31]. 우리나라는 10여년 전부터 독거노인의 돌봄과 위기 대응을 위해 여러 정책과 서비스를 개발하여 제공하고 있다. 예를 들어 노인이 거주하는 집안에 생성된 온도, 습도, 동작, 가스감지, 전기사용, 물사용 등의 데이터를 수집하고 기록하여 모니터링하는 서비스를 시행하였다[32]. 최근 정부는 응

급안전서비스의 고도화를 위해 차세대 장비를 보급하고 응급호출기, 화재감지기, 활동량 감지기, 조도, 습도, 온도 감지센서 및 태블릿 PC기반의 통신단말장치 등 최신 기술을 도입한다고 하였다[33]. 하지만 과학기술의 발달로 수준 높고 정밀한 모니터링이 가능한 반면에 노인의 사생활 침해로 인한 인권문제가 또 다른 이슈가 되고 있어[34] 소외되고 있는 독거노인들의 건강 관리와 사생활 보호라는 두 가지의 대립하는 과제의 해결 또한 기술적인 방법으로 풀어 나가야 한다.

일반적인 모니터링 방법은 사생활을 침해할 위험성이 있다[35]. 특히, 비디오 카메라와 같은 직접적으로 대상자의 모습을 찍거나 녹화할 경우 통신상의 해킹 등의 경우 외부로 노출될 위험성이 있다. 뿐만 아니라 고령자가 이러한 전자기기를 매번 착용하거나 충전해야 하는 경우 불편함 등을 호소하여 지속적인 착용 또는 사용이 제한될 수 있다. 따라서 사생활을 보호하기 위해서 그리고 모니터링의 용이성을 위하여 무간섭(Unobtrusive) 모니터링 방식의 필요성이 제기된다[36].

따라서 본 연구를 통해 지역사회 독거노인의 신체기능 관리를 위한 모니터링 시스템의 포괄적인 현황을 파악하고 무간섭 모니터링을 위한 향후 방향을 제시하고자 한다.

1. 독거노인의 건강 모니터링

인구의 고령화에 따라 성공적인 노화를 위한 노인들의 신체 및 정신 건강을 모니터링하고 관리의 필요성 또한 대두되고 있다. 원격으로 건강 모니터링 및 증진을 위한 방법으로 스마트홈 시스템이 제시된 바 있다. Demiris 등[27]은 스마트 홈에서 사용되고 있는 건강 모니터링 및 증진을 위한 기술을 총 6가지 항목으로 분류하였고 이 중 모니터링과 관련된 항목을 5가지로 정리할 수 있다. 이 다섯 가지는 생리학적 모니터링(physiological monitoring), 기능적 모니터링(functional monitoring), 안전 모니터링(safety monitoring), 보안 모니터링(security monitoring), 그리고 사회적 상호작용 모니터링(social interaction monitoring)이 있다. 생리학적 모니터링으로 심박수, 호흡수, 온도, 혈압 등의 활력 징후 등이 있다. 기능적 모니터링에는 일반적인 활동수준, 동작, 보행, 음식섭취 및 일상생활동작이 포함되어 있으며, 안전 모니터링에는 비정상적인 상황 또는 낙상 등의 응급상황에 대한 감지가 있다. 보안 모니터링에는 외부인의 주거침입에 대한 감지가 있다. 사회적 상호작용 모니터링에는 전화 사용, 방문자 및 사회활동에 대한 감지가 있다. 2016년 Liu 등[37]은 의학적 상태와 장애에 따라 모니터링 내용을 분류하였다. 일상생활동작, 만성 폐쇄성 폐질환, 인

Table 1. Comparison of Health Monitoring Categories

Demiris et al. (2008)	Liu et al. (2016)	Wang et al. (2021)
Physiological Monitoring	Monitoring of Activities of Daily Living	Physiological monitoring
Functional monitoring/Emergency detection and reponse	Chronic obstructive pulmonary disease	Safety/Security monitoring
Safety monitoring and assistance	Cognitive decline and mental health	Functional monitoring
Security monitoring and assistance	Disease/Disability prediction/Health-related quality of life	Social interaction monitoring
Social interaction monitoring and assistance	Fall prevention	Emergency detection
Cognitive and sensory assistance	Monitoring heart condition	

지 감소 및 정신건강, 질병과 장애 예측, 건강관련 삶의 질, 낙상예방, 심장기능 등으로 분류하였다. Wang 등 [36]은 기능에 따라 생리학적 모니터링, 안전/보안 모니터링, 기능적 모니터링, 사회적 상호작용 모니터링, 응급상황 감지로 분류하였다. 또한 데이터의 종류에 따라 생리학적 데이터, 행동학적 데이터, 환경적 데이터로 분류하였다. 생리학적 데이터는 체온, 혈압, 체중, 심전도, 심박수, 호흡수 등을 포함하고, 행동학적 데이터는 활동 수준, 컴퓨터 및 전화기 사용량, 보행변수, 활동별 소모 시간, 외출여부 등을 포함하며, 환경적 데이터는 가스농도, 습도, 온도, 소음 등을 포함한다.

선행연구를 종합해보면 독거노인의 건강 관리를 위해 체온, 호흡, 심박수 등을 감지하는 생리학적 모니터링과 보행, 활동수준, 자세 등을 평가하는 기능적 모니터링, 낙상이나 발작, 실신등을 감지하는 위급상황 모니터링, 우울등 심리적 변화를 평가하는 정신/심리적 모니터링, 외부인 주거침입에 대한 보안 모니터링, 전화사용이나 방문자 확인, 외출 등을 감지하는 사회활동 감지 등으로 분류할 수 있다.

2. 독거노인의 일상생활 동작 능력 모니터링

일반적으로 노인의 신체기능을 객관적으로 확인하기 위해서는 주로 일상생활 수행능력(activities of daily living, ADL)을 평가한다[38, 39]. ADL은 독립적으로 건강을 유지하며, 기본적인 일상동작을 수행할 수 있는 능력을 뜻한다[40]. ADL은 두 가지로 분류될 수 있는데, 기초적인 ADL(Basic activities of daily living, BADL)과 도구를 사용하는 ADL(instrumental activities of daily living, IADL)가 있다. BADL이란 생명을 유지하기 위해 필요한 기초적인 동작들을 포함하며 식사하기, 몸단장하기, 목욕하기, 옷입기, 화장실 사용하기 그리고 이

동하기 등이 있다. IADL은 좀 더 복잡한 활동동작을 포함하며 전화기 사용, 식사 준비, 장보기, 재정 관리하기, 약 먹기 그리고 운전하기 등의 다차원적인 기능을 나타낸다. 이러한 ADL은 각 개인의 신체적 건강상태를 나타낼 수 있다. 일반적으로 ADL의 수행능력은 개인의 추론 및 계획과 같은 인지능력, 균형감각 및 근력등을 포함하는 운동능력, 그리고 보고 듣는 등의 지각능력에 의해 결정된다[41]. ADL을 수행할 때, 집에 설치된 여러 사물과의 접촉은 필수 불가결하다[36]. 따라서 각 사물과의 연결 또는 통합하여 자동 ADL 측정 방법으로 사용될 수가 있다.

3. 건강 모니터링에 사용하는 센서의 종류와 활용된 방법

국내 및 해외 여러 연구 사례에서 원격으로 노인의 건강상태를 모니터링하기 위한 방법을 모색하였다. 다양한 전자기기를 활용하여 모니터링의 목적으로 사용되었는데, 그중 가장 대표적으로 사용된 기기들로는 RGB 카메라, 가속도센서, 적외선(Infrared, IR) 모션센서, 웨어러블 센서, 랩스카메라 등이 있다.

RGB 카메라

RGB 비디오 카메라를 활용한 국내 및 해외 사례들은 다음과 같다. 김도현 등[42]은 독거노인의 호흡시 헤모글로빈이 활성화되는 것을 파악하여, 얼굴색 R부분 변화를 통한 호흡을 인식하였다. 또한 김수인 등[43]은 일정 시간 간격으로 2장의 영상을 추출, 두 영상의 차이를 확인하여 움직임 감지하였다. 신동익 등[44]은 수면시에 호흡 및 침대에서 이탈하는 움직임을 감지하고, 주간에는 이동의 정도 및 정지한 시간 등을 확인한 사

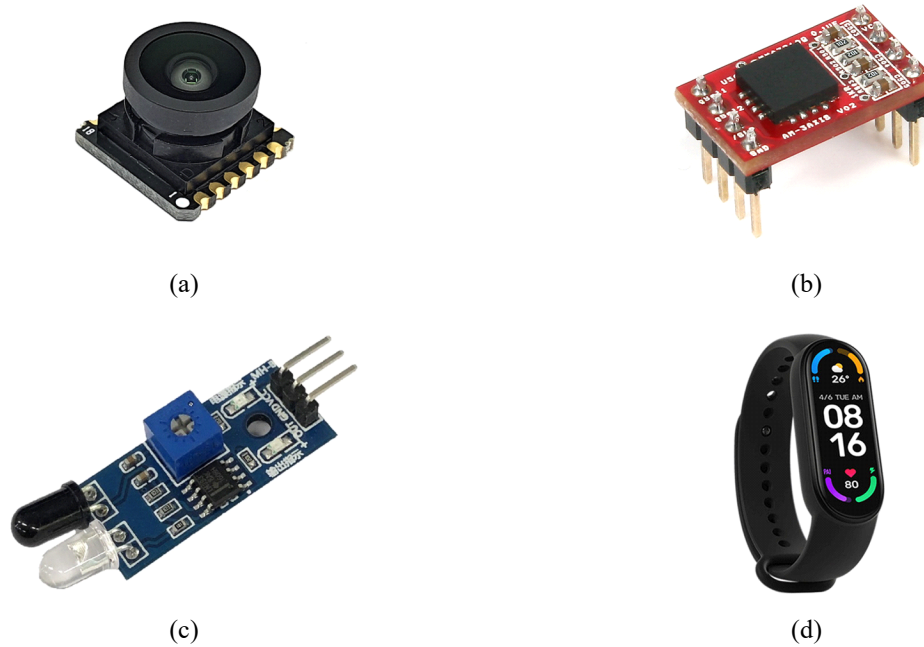


Figure 1. Samples of different devices to monitor physical functions of elderly living alone. (a) RGB camera (HU6750, Huentek, Korea); (b) accelerometer (AM-3 Axis, Freescale, Japan); (c) Passive infrared motion sensor (HAM4311, Any Vendor, China); (d) Wearable smart band (Mi-band 6, Xiaomi, China)

레도 있다. Karakostas 등[45]은 비디오 카메라와 전류 센서를 함께 사용하여 사용자의 모습, 수면장애, 외출, 집안에서 존재 여부 등을 확인한 사례도 있다. 하지만 RGB 비디오 카메라를 통한 모니터링의 경우, 사생활 노출의 위험도가 매우 높아서 권장되지 않는다.

가속도센서

가속도 센서는 몸에 착용하여 움직임에 대한 가속도의 변화를 측정하여 움직임을 모니터링하는 역할을 한다. 이보람 등[46]은 가속도 및 기울기 센서 와 온도, 심박수 센서를 신발에 부착하여 노인의 보행 상태를 확인하였다. 이에 더해 위급상황을 감지하여 보호자에게 위급상황을 알리는 위급상황 모니터링 시스템을 제안하였다. 고주영 등[47]은 노인의 옷에 가속도 센서를 부착하여 낙상을 감지하는 시스템을 개발하였으며, 실내 상태를 감지하기 위해 온도센서와 조도 센서를 사용하였다. Shooten 등[48]은 체간에 가속도 센서를 부착하여 신체 운동을 모니터링 하였다. 이를 통하여 매일 누워있는 시간, 앉은 시간, 서있거나 이동 및 움직이는 시간을 측정하고, 움직임의 강도와 각 움직임 간의 시간을 확인하였다. Corbett 등[49]은 고관절에 부착된 가속도 센서를 활용하여 보행강도 측정을 통해 운동수준을 객관적으로

분류하고자 하였다.

Passive Infrared Detector (PID) 인체감지센서

적외선 기반 모션센서는 신체활동 모니터링에서 가장 흔하게 사용되는 기기로 저렴하고 부착이 용이한 장점이 있다. 이선우 등[50]은 모션센서로 독거노인의 체류 및 이동을 감지하였고, 도어센서를 이용한 거주자의 위치 이동을 추정, 슬립센서로 수면의 시작 및 종료를 인식하였다. Aramendi 등[51]은 움직임 센서를 각 방, 의자, 침대, 주방에 설치하여 요리, 식사, 휴식, 화장실 사용, 외출시간, 수면시간, 실내에서 걷는 거리 등을 측정하였으며, Nienhold 등[52]은 움직임 센서를 통하여 위치 정보를 확인하였다. 또한, Walsh 등[28]은 움직임 센서와 함께 접촉, 침대 센서, 웨어러블 디바이스를 함께 활용하여 집안에서 활동량과 각 장소에서 보낸 시간 등을 확인하였다.

웨어러블 디바이스

웨어러블 디바이스는 스마트 밴드, 스마트 워치 또는 직접 제작한 전자기기가 활용 되었다. 정재훈 등[53]은 스마트 밴드를 활용하여 심박수를 모니터링 하였으며, 지속적으로 정상범위를 벗어난 입력이 발생하면 사용자



Figure 2. Commonly used Depth Camera (a) Real Sense (D415, Intel, USA); (b) Azure Kinect (Microsoft, USA)

에게 알리는 시스템을 구축하였다. 정경권 등[54]은 RFID 장갑과 주요 물체에 부착된 RFID 태그를 통하여, 노인이 물체에 대한 정보를 영상과 음성으로 알려주는 시스템을 개발하였다. 또한 이러한 정보는 인터넷 연결을 통해 가족, 사회복지사, 그리고 병원 관계자에게 전달되도록 하였으며, 사용처로는 독거노인의 상비약, 시력 저하 등으로 인해 구분이 어려운 물건들에 부착되었다. Marques 등[55]은 착용 가능한 심전도 및 혈압 모니터링 기기를 개발하여 정확도를 확인하였다. 이러한 유용성에도 불구하고, 이러한 웨어러블 디바이스의 가장 큰 단점은, 매번 착용하고 있어야 하며 충전을 지속적으로 해주어야 한다는 점이다.

딥스카메라

딥스카메라는 구조광 원리를 사용해서 적외선이 연속적으로 장면을 점 패턴으로 받아들이게 된다. 그리고 적외선 카메라가 해당 패턴은 삼각 측량 기법을 통하여 깊이 정보로 예측하며, 카메라와 대상사물의 기준치가 계산된다. 그리고 인공지능 기반의 골격으로 사물을 추적하게 된다[56]. 따라서 실제 모습을 저장하지 않기에, 사생활 침해 우려가 적으며 사용자가 의식하지 않는 상태에서 신체기능을 모니터링 할 수 있는 좋은 방법으로 생각된다. 딥스카메라는 재활환경에서도 동작분석을 대신하여 비교적 저렴하고 무간섭적으로 움직임을 분석하여 모니터링 할 수 있는 기술이다[57]. 이러한 이점들을 통해 Chen 등[58]은 미래에는 딥스카메라와 딥러닝기술의 결합을 통하여 웨어러블 센서가 더이상 필요하지 않을 것으로 전망하였다.

딥스카메라를 통하여 노인의 움직임 모니터링한 몇가지 사례가 있는데, Vildjiounaite 등[59]의 연구에서는 딥스카메라를 사용하여 움직임을 측정하고, 이를 통해 ADL과 비정상적인 움직임을 감지하는 시스템을 개발하였다. 또한 Daher 등[60]은 딥스카메라를 활용하여 걷

기, 서기, 앉기, 낙상 및 자세에 대한 깊이정보 및 가속도센서를 통한 위치정보를 확인하여 집안에서의 ADL 확인 및 낙상을 감지하였다. 그 외에도 딥스카메라를 통하여 비접촉으로 호흡량을 예측하거나 심박수, 호흡수와 같은 활력징후를 측정하거나, 수면시 호흡률, 자세 그리고 움직임을 분석하는 등 다양한 방면의 건강모니터링에 대한 연구가 진행중이다[61-63].

4. 무간섭을 위한 모니터링 방법

무간섭 센싱은 두 가지 요소를 포함한다. 하나는 유비쿼터스(Ubiquitous)로서 센서가 사용자의 일상환경 내의 요소 등에 포함되어야하는 것을 의미한다. 일상생활시에 모니터링하는 센서가 눈에 띄지 않아 일상생활에 불편함을 느끼지 않아야한다. 두 번째 요소는 투명성(Transparency)이다. 투명성은 일상생활에 없는 다른 동작을 배제하여 일상생활동작 내에서 센싱을 하는 것이다. 무간섭을 위해 센서의 배치가 중요하다[36]. 일반적인 센서의 배치는 센서의 데이터의 종류에 따라 위치를 결정한다. 접촉센서는 가구의 문이나 출입문에 배치하여 출입이나 사용 여부를 확인하도록 한다. 전류센서는 전원공급장치에 배치하여 기기 사용 시간이나 사용유무를 파악한다[30]. 압력센서는 노인들의 서거나 앉기 혹은 누워있는 자세에 따라 힘이 가해 부위 아래에 배치한다[50]. PIR모션센서는 이동경로와 위치를 파악하기 위해 사용하며 원하는 활동범위를 지정하여 배치한다[51]. 생리학적 변수를 감지하기 위해서는 신체와 접촉을 하여야 한다. 일반적인 센서들은 무간섭을 위해 센서의 모양을 가구나 인테리어와 조화스럽게 모양을 바꾸어 배치하여야 한다. 하지만 신체에 부착하는 센서의 경우 무간섭을 구현하기에 많은 어려움이 있다. 센서를 착용하고 있는 동안에는 센서를 의식하는 행동을 할 수 있어서 가능한 불편함을 주지 않으면서 착용이 가능하도록 만드는 것이 중요하다. 웨어

러블 센서들은 충전을 정기적으로 해야 하는데 이 또한 노인들에게는 쉽지 않은 일이며 일상생활에서 자연스러워질 때까지는 생활 보호사들의 지원이 필요하다.

가속도 센서는 노인들의 움직임 감지하는데 가장 일반적으로 사용되고 있다[64]. 손목시계나 핸드폰 속에 있는 센서를 사용하여 데이터를 추출하기 때문에 그나마 일상생활을 침해하는 부분이 적다. 보행 데이터나 낙상 감지등과 같은 인체의 속도의 변화의 감지에 적합하다[65]. 하지만 기기의 관리와 조작을 하기 미숙한 사용자들에게는 어려움이 따른다.

웹스 카메라를 활용하여 신체기능의 평가를 위해서 사용된 사례도 있다. Masalha 등[66]은 여러 대의 웹스 카메라를 사용하여 버그 균형 척도(Berg Balance Scale, BBS)를 평가하는 시스템을 개발하였다. 해당 척도는 낙상위험도를 예측하기 위해 평가자가 대상자에게 여러가지 균형감각을 요구 하는 동작들을 시행하도록 하고, 대상자의 수행능력에 따라 점수를 부여하는 방식으로 진행된다. 이 연구에서는 물리치료사와 웹스카메라가 같은 대상에 평가를 시행하고 두 점수를 비교하였으며 항목별로 52%에서 100%의 일치도를 확인하였다. Dubois 등[67]은 또 다른 낙상의 위험도를 평가하는 도구인 일어서서 걷기 검사(Timed up and go test, TUG)를 두대의 웹스카메라를 활용하여 자동 측정하는 시스템을 개발하였다. 평가자가 측정하는 것과 비교하여 매우 낮은 오차율을 보였으며, 낙상 저위험군과 고위험군을 객관적으로 구분할 수 있는 결과를 얻었다. Kumar 등[68]은 10 미터 걷기 검사(10-meter walk test)시 보행 변수를 웹스카메라로 분석하여 낙상 위험도를 예측하는 시스템을 개발하였다. 보행시 시간적 변수, 변이량, 좌우 대칭성, 그리고 연속적 걸음 수를 실제 낙상 고위험군과 일반군을 비교하여 알고리즘을 분석하였다.

결론

본 연구에서는 인구 고령화의 가속도와 코로나로 고령자의 자택 거주시간이 늘어남에 따라 필요성이 높아지고 있는 지역사회 독거노인의 신체기능을 관리하는 모니터링 시스템에 대하여 포괄적으로 알아보았다. 독거노인의 성공적인 노화와 응급상황 대처 및 고독사와 같은 사회적인 문제를 예방하기 위해 신체기능 모니터링은 필수적이었으며, 많은 연구에서 다양한 정보통신 기술을 통하여 이러한 문제를 해결하고자 노력하였다. 하지만, 노인의 편의성과 사생활 보호를 위해서 무간섭적인 기술이 사용되는 것이 권장되는데, 웹스카메라가 이에 가장 적합한 것으로 생각한다.

감사의 글

본 연구는 보건복지부의 재원으로 한국보건산업진흥원의 보건의료기술 연구개발사업지원에 의하여 이루어진 것임(과제고유번호: HI21C0572).

이해충돌

본 연구의 저자들은 연구, 저작권, 및 출판과 관련하여 잠재적인 이해충돌이 없음을 선언합니다.

참고문헌

1. Kennedy BK, Berger SL, Brunet A, Campisi J, Cuervo AM, Epel ES, et al. Geroscience: linking aging to chronic disease. *Cell*. 2014;159:709-13.
2. Roubenoff R. Sarcopenia and its implications for the elderly. *Eur J Clin Nutr*. 2000;54 Suppl 3:S40-7.
3. Talbot LA, Musiol RJ, Witham EK, Metter EJ. Falls in young, middle-aged and older community dwelling adults: perceived cause, environmental factors and injury. *BMC Public Health*. 2005;5:86-.
4. Gadelha AB, Neri SGR, Bottaro M, Lima RM. The relationship between muscle quality and incidence of falls in older community-dwelling women: An 18-month follow-up study. *Exp Gerontol*. 2018;110:241-6.
5. Crescenzo R, Bianco F, Mazzoli A, Giacco A, Liverini G, Iossa S. Skeletal muscle mitochondrial energetic efficiency and aging. *Int J Mol Sci*. 2015;16:10674-85.
6. Rubenstein LZ, Josephson KR. Falls and their prevention in elderly people: what does the evidence show? *Med Clin North Am*. 2006;90:807-24.
7. Dos Santos L, Cyrino ES, Antunes M, Santos DA, Sardinha LB. Sarcopenia and physical independence in older adults: the independent and synergic role of muscle mass and muscle function. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2017;8:245-50.
8. Karlamangla AS, Miller-Martinez D, Aneshensel CS, Seeman TE, Wight RG, Chodosh J. Trajectories of cognitive function in late life in the United States: demographic and socioeconomic predictors. *Am J Epidemiol*. 2009;170:331-42.
9. Crimmins EM, Saito Y, Kim JK. Change in Cognitively Healthy and Cognitively Impaired Life

- Expectancy in the United States: 2000-2010. *SSM Popul Health*. 2016;2:793-7.
10. Bredesen DE, Amos EC, Canick J, Ackerley M, Raji C, Fiala M, et al. Reversal of cognitive decline in Alzheimer's disease. *Aging (Albany NY)*. 2016;8:1250-8.
 11. Bondi MW, Edmonds EC, Salmon DP. Alzheimer's Disease: Past, Present, and Future. *J Int Neuropsychol Soc*. 2017;23:818-31.
 12. StatisticsKorea. 2019 Elderly Statistics. 2019:1-3.
 13. Hwang MJ. Welfare of the aged and Community Care in an Aging Society. *Journal of Public Society*. 2020;10:5-28.
 14. Yoo JH, Kim KH, Park YG, Yum KT. Development of real-time management system for the alone elderly using water usage based on smartphone application. *Journal of Digital Contents Society*. 2020;21:1017-24.
 15. Park YS. Effects of the Social Health of the Aged on their Quality of Life. *The Journal of the Korea Contents Association*. 2013;13:726-39.
 16. Cho MH. Analysis of Research on Successful Aging - Focused on Journal Papers -. *Korean Journal of Human Ecology*. 2014;23:231-49.
 17. Park YH, Suh EE. The Risk of Malnutrition, Depression, and the Perceived Health Status of Older Adults. *jkan*. 2017;37:941-8.
 18. Augenstein J. Opportunities To Expand Telehealth Use Amid The Coronavirus Pandemic. *HEALTH AFFAIRS FOREFRONT*; 2020 [cited 2021 12/29]; Available from: <https://www.healthaffairs.org/doi/10.1377/forefront.20200315.319008/full/>.
 19. Fiani B, Siddiqi I, Lee SC, Dhillon L. Telerehabilitation: Development, Application, and Need for Increased Usage in the COVID-19 Era for Patients with Spinal Pathology. *Cureus*. 2020;12:e10563-e.
 20. Galewitz P. Telemedicine surges, fueled by coronavirus fears and shift in payment rules. *KAISER FAMILY FOUNDATION*; 2020 [cited 2021 12/29]; Available from: <https://khn.org/news/telemedicine-surges-fueled-by-coronavirus-fears-and-shift-in-payment-rules/>.
 21. Wosik J, Fudim M, Cameron B, Gellad ZF, Cho A, Phinney D, et al. Telehealth transformation: COVID-19 and the rise of virtual care. *J Am Med Inform Assoc*. 2020;27:957-62.
 22. Armitage R, Nellums LB. COVID-19 and the consequences of isolating the elderly. *The Lancet Public Health*. 2020;5:e256.
 23. Torous J, Jän Myrick K, Rauseo-Ricupero N, Firth J. Digital Mental Health and COVID-19: Using Technology Today to Accelerate the Curve on Access and Quality Tomorrow. *JMIR Ment Health*. 2020;7:e18848.
 24. Hong J, Kim J, Kim SW, Kong HJ. Effects of home-based tele-exercise on sarcopenia among community-dwelling elderly adults: Body composition and functional fitness. *Exp Gerontol*. 2017;87:33-9.
 25. Yeung SSY, Reijnierse EM, Pham VK, Trappenburg MC, Lim WK, Meskers CGM, et al. Sarcopenia and its association with falls and fractures in older adults: A systematic review and meta-analysis. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2019;10:485-500.
 26. Janssen I, Heymsfield SB, Ross R. Low relative skeletal muscle mass (sarcopenia) in older persons is associated with functional impairment and physical disability. *J Am Geriatr Soc*. 2002;50:889-96.
 27. Demiris G, Hensel BK. Technologies for an aging society: a systematic review of "smart home" applications. *Yearb Med Inform*. 2008:33-40.
 28. Walsh L, Doyle J, Smith E, Inomata A, Bond R. Continuous real-world gait monitoring in community-based older adults. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2015;2015:3719-22.
 29. Radmanesh E, Delrobaei M, Habachi O, Chamani S, Pousset Y, Meghdadi V, A Wearable IoT-Based Fall Detection System Using Triaxial Accelerometer and Barometric Pressure Sensor. *Ubiquitous Networking*; 2020 2020//; Cham.
 30. Patrono L, Rametta P, Meis J, Unobtrusive detection of home appliance's usage for elderly monitoring. 2018 3rd International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech); 2018.
 31. Kreutzer JF, Deist J, Hein CM, Lueth TC. Sensor systems for monitoring fluid intake indirectly and directly. 2016 IEEE 13th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN); 2016.
 32. Lee SH, Lee JY, Kim JS. Monitoring System for the Elderly Living Alone Using the RaspberryPi Sensor. *Journal of Digital Contents Society*. 2017;18:1661-9.
 33. Welfare MoHa. 2021 Emergency Safety Notification

- Service for the Elderly Living Alone and the Severely Disabled. Ministry of Health and Welfare; 2021.
34. Al Ameen M, Liu J, Kwak K. Security and Privacy Issues in Wireless Sensor Networks for Healthcare Applications. *Journal of Medical Systems*. 2012;36:93-101.
 35. Boise L, Wild K, Mattek N, Ruhl M, Dodge HH, Kaye J. Willingness of older adults to share data and privacy concerns after exposure to unobtrusive in-home monitoring. *Gerontechnology*. 2013;11:428-35.
 36. Wang J, Spicher N, Warnecke JM, Haghi M, Schwartze J, Deserno TM. Unobtrusive Health Monitoring in Private Spaces: The Smart Home. *Sensors (Basel)*. 2021;21.
 37. Liu L, Stroulia E, Nikolaidis I, Miguel-Cruz A, Rios Rincon A. Smart homes and home health monitoring technologies for older adults: A systematic review. *Int J Med Inform*. 2016;91:44-59.
 38. Stein RE, Gortmaker SL, Perrin EC, Perrin JM, Pless IB, Walker DK, et al. Severity of illness: concepts and measurements. *Lancet*. 1987;2:1506-9.
 39. Branch LG, Meyers AR. Assessing Physical Function in the Elderly. *Clinics in Geriatric Medicine*. 1987;3:29-51.
 40. Troyer AK. Activities of Daily Living (ADL). In: *Kreutzer JS, DeLuca J, Caplan B, editors. Encyclopedia of Clinical Neuropsychology*. New York, NY: Springer New York; 2011. pp.28-30.
 41. Mlinac ME, Feng MC. Assessment of Activities of Daily Living, Self-Care, and Independence. *Arch Clin Neuropsychol*. 2016;31:506-16.
 42. DoHyeun K, Dong gyu L, Dong-Jae Jo, Sang-Hee Kim, Dedicated Elderly Monitoring System using Camera-based Breathing Sensor. *Proceedings of KIIT Conference*. 2018:304-305.
 43. Kim SI, Kim IB, Kim CK. Implementation of Remote Monitoring System for the Aged Using Moving Information. *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*. 2007;32:431-9.
 44. Shin DI, Shin GH, Heo SJ. Activity and Sleep Apnea Monitoring of Aged-Person using Image Processing. *Healthcare Informatics Research*. 2007;13:393-401.
 45. Karakostas A, Lazarou I, Meditskos G, Stavropoulos T, Kompatsiaris I, Tsolaki M. Sensor-based in-home monitoring of people with dementia using remote web technologies 2015.
 46. Lee BR, OH YS Emergency monitoring system for safe walking of the elderly people. 2016.
 47. Ko JY, Kim HK. A Study on the Monitoring System for Emergency Recognition of Elderly People Living Alone. *Korean Institute of Information Technology*. 2014;12:61-8.
 48. van Schooten KS, Rispens SM, Elders PJ, Lips P, van Dieën JH, Pijnappels M. Assessing physical activity in older adults: required days of trunk accelerometer measurements for reliable estimation. *J Aging Phys Act*. 2015;23:9-17.
 49. Corbett DB, Valiani V, Knaggs JD, Manini TM. Evaluating Walking Intensity with Hip-Worn Accelerometers in Elders. *Medicine and science in sports and exercise*. 2016;48:2216-21.
 50. Lee SW, Ok DY, Jung PH, Kim JK. Case Study: Long-term Experiments on a Daily Activity Monitoring System for an Elderly Living Alone. *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*. 2012;18:738-43.
 51. Alberdi Aramendi A, Weakley A, Aztiria Goenaga A, Schmitter-Edgecombe M, Cook DJ. Automatic assessment of functional health decline in older adults based on smart home data. *Journal of Biomedical Informatics*. 2018;81:119-30.
 52. Nienhold D, Dornberger R, Korkut S, Sensor-Based Tracking and Big Data Processing of Patient Activities in Ambient Assisted Living. 2016 IEEE International Conference on Healthcare Informatics (ICHI); 2016 4-7 Oct. 2016.
 53. Jung JH, Kim YG, Gwon DE, Ahn MK, Health monitoring App using a commercial smart band for elders. *Proceedings of the Korean Information Science Society Conference*; 2018.
 54. Jung KK, Lee YG, Kim YJ. Design and Implementation of Wireless RFID Assistant System for Activity Monitoring of Elderly Living Alone. *The Institute of Electronics Engineers of Korea - IE*. 2009;46:55-61.
 55. Ribeiro DM, Colunas MF, Marques FA, Fernandes JM, Cunha JP. A real time, wearable ECG and continuous blood pressure monitoring system for first responders. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2011;2011:6894-8.
 56. Albert J, Owolabi V, Gebel A, Brahms C,

- Granacher U, Arnrich B. Evaluation of the Pose Tracking Performance of the Azure Kinect and Kinect v2 for Gait Analysis in Comparison with a Gold Standard: A Pilot Study. *Sensors*. 2020;20:1-22.
57. Capecci M, Ceravolo MG, Ferracuti F, Iarlori S, Longhi S, Romeo L, et al. Accuracy evaluation of the Kinect v2 sensor during dynamic movements in a rehabilitation scenario. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2016;2016:5409-12.
58. Chen K-Y, Zheng W-Z, Lin Y-Y, Tang S-T, Chou L-W, Lai Y-H. Deep-learning-based human motion tracking for rehabilitation applications using 3D image features2020.
59. Vildjiounaite E, Mäkelä S-M, Keränen T, Kyllönen V, Huotari V, Järvinen S, et al. Unsupervised illness recognition via in-home monitoring by depth cameras. *Pervasive and Mobile Computing*. 2017; 38:166-87.
60. Daher M, Najjar MEBE, Diab A, Khalil M, Charpillat F, Multi-Sensory Assistive Living System for Elderly in-Home Staying. 2018 International Conference on Computer and Applications (ICCA); 2018 25-26 Aug. 2018.
61. Yu MC, Liou JL, Kuo SW, Lee MS, Hung YP. Noncontact respiratory measurement of volume change using depth camera. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2012;2012:2371-4.
62. Xie Z, Zhou B, Cheng X, Schoenfeld E, Ye F, VitalHub: Robust, Non-Touch Multi-User Vital Signs Monitoring using Depth Camera-Aided UWB. 2021 IEEE 9th International Conference on Healthcare Informatics (ICHI); 2021.
63. Yu M-C, Wu H, Liou J-L, Lee M-S, Hung Y-P, Multiparameter Sleep Monitoring Using a Depth Camera. *Biomedical Engineering Systems and Technologies*; 2013 2013//; Berlin, Heidelberg.
64. Kang DW, Choi JS, Lee JW, Chung SC, Park SJ, Tack GR. Real-time elderly activity monitoring system based on a tri-axial accelerometer. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. 2010;5: 247-53.
65. Sucerquia A, López JD, Vargas-Bonilla JF. Real-Life/ Real-Time Elderly Fall Detection with a Triaxial Accelerometer. *Sensors (Basel, Switzerland)*. 2018; 18:1101.
66. Masalha A, Eichler N, Raz S, Toledano-Shubi A, Niv D, Shimshoni I, et al., Predicting Fall Probability Based on a Validated Balance Scale. 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW); 2020 14-19 June 2020.
67. Dubois A, Bihl T, Bresciani JP. Automating the Timed Up and Go Test Using a Depth Camera. *Sensors (Basel)*. 2017;18.
68. Pradeep Kumar D, Toosizadeh N, Mohler J, Ehsani H, Mannier C, Laksari K. Sensor-based characterization of daily walking: a new paradigm in pre-frailty/frailty assessment. *BMC Geriatrics*. 2020; 20:164.