

# 고령자의 근력 및 균형 능력 강화를 위한 트램폴린 재활운동시스템 개발에 관한 연구

최승환\*<sup>1</sup>, 박건석\*<sup>2</sup>, 권혁동\*\*<sup>3</sup>, 이수웅\*<sup>3</sup>

## Development of a Trampoline Rehabilitation Exercise System to Strengthen the Muscular Strength and Balance Ability for the Elderly

Seung-Hwan Choi\*<sup>1</sup>, Gunseok Park\*<sup>2</sup>, Hyuk-Dong Kweon\*\*<sup>3</sup>, and Suwoong Lee\*<sup>3</sup>

본 연구는 정부(과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 보건복지부, 식품의약품안전처)의 재원으로  
범부처전주기료기기연구개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제고유번호: RS-2020-KD000167)

### 요 약

최근 급격한 고령화 추세 속에서 삶의 질을 높이기 위한 건강관리의 중요성이 점점 더 부각되고 있다. 특히, 근감소증과 같은 노인성 질환의 예방과 관리를 위해 다양한 운동 방법과 건강관리 전략이 필수적이다. 본 연구에서는 고령자도 쉽게 운동하여 근력 및 균형 능력을 강화할 수 있는 트램폴린 재활운동시스템을 제안한다. 트램폴린 재활운동시스템은 운동 콘텐츠와 연동하여 다양한 운동 동작을 제공하고 사용자는 모니터를 보고 쉽게 동작을 따라 할 수 있다. 트램폴린 시스템은 카메라를 기반으로 모션 인식과 무게중심, 발 위치를 추정하여 사용자의 동작 표시 및 평가하고 기록할 수 있다. 본 논문에서는 개발한 트램폴린 재활운동시스템의 주요 기술인 무게중심 위치와 모션 인식, 발 위치 추정, 맥박 측정의 성능을 평가하고 우수성을 확인하였다.

### Abstract

In the context of the rapidly aging population, the importance of health management for improving quality of life is increasingly emphasized, especially for preventing and managing age-related diseases like sarcopenia with diverse exercise and health strategies. This study proposes a trampoline rehabilitation exercise system designed for the elderly to easily strengthen their muscle and balance abilities. The trampoline rehabilitation exercise system offers a variety of exercise movements in conjunction with exercise content, and users can easily follow the movements by watching a monitor. The system uses a camera to recognize motion and estimate the user's center of mass and foot position, allowing for the display, evaluation, and recording of the user's movements. This paper evaluated the system's core functionalities: center of gravity positioning, motion recognition, foot position estimation, and heart rate measurement.

### Keywords

trampoline, rehabilitation exercise system, center of gravity, motion recognition, position estimation

\* 한국생산기술연구원 연구원(\*<sup>3</sup> 교신저자)  
- ORCID<sup>1</sup>: <https://orcid.org/0000-0003-1898-9884>  
- ORCID<sup>2</sup>: <https://orcid.org/0000-0002-7534-7258>  
- ORCID<sup>3</sup>: <https://orcid.org/0000-0001-6547-9225>  
\*\* ㈜동아금속 연구소장  
- ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4619-0072>

• Received: Apr. 11, 2024, Revised: May 21, 2024, Accepted: May 24, 2024  
• Corresponding Author: Suwoong Lee  
Advanced Mobility System Group, Daegyeong Technology Application  
Division, Korea Institute of Industrial Technology, 320 Techno sunhwan-ro,  
Yuga-eup, Dalseong-gun, Daegu 42994 Republic of Korea  
Tel.: +82-53-580-0161, Email: [lee@kitech.re.kr](mailto:lee@kitech.re.kr)

## 1. 서 론

현대 사회는 급속한 고령화 추세와 함께 고령 인구의 삶의 질을 유지하고 향상시키는 것을 중요한 과제로 삼고 있다. 고령화 사회에서 건강한 생활 유지는 무엇보다 중요하며, 이를 위해 다양한 운동 방법이 연구되고 있다. 운동은 노화 방지, 근력 유지, 그리고 정신 건강 증진에 필수적인 요소로 인식되고 있으며, 특히 고령자에게 있어서는 근감소증과 같은 노인성 질환의 예방 및 관리를 위해 매우 중요하다. 하지만, 고령자가 외부 환경에 쉽게 노출되거나 고도의 신체 활동을 수행하기는 어려운 현실이므로, 실내에서도 쉽게 할 수 있고, 개인의 체력 수준에 맞추어 조절할 수 있는 운동 방안이 필요하다[1][2].

이러한 배경에서 트램폴린 운동이 주목받고 있다. 트램폴린은 원래 어린이들의 놀이기구로 인기가 많았으나, 최근에는 남녀노소 불문하고 모두가 즐길 수 있는 운동기구로 재조명되고 있다. 근육 강화, 균형 능력 향상, 재활 운동 등 다양한 분야에서 그 효과가 입증되었으며, 특히 점핑 피트니스와 같이 다양한 운동 동작을 실내에서 쉽게 할 수 있어 인기를 얻고 있다. 트램폴린 운동은 고령자에게도 적합하며, 신체적 제약이 있는 이들도 쉽게 접근할 수 있는 장점이 있다.

국내외 기술 현황을 살펴보면, 트램폴린을 활용한 운동은 주로 엔터테인먼트 목적으로 개발되었다. 국내에서는 의료용으로 개발된 트램폴린이 아직은 일반적이지 않으며, 대부분이 엔터테인먼트용으로 활용되고 있다. 반면, 국외에서는 트램폴린을 의료용으로 개발하고, ICT 기술과 연동하여 운동 효과를 증진시키는 사례를 찾아볼 수 있다. 그럼에도 불구하고, 고령자의 근골격 상태를 전문의가 원격으로 모니터링하거나, 재활 운동을 정량적으로 평가할 수 있는 기능은 아직 미흡하다[3][4].

국외의 기술 사례들을 살펴보면, 다양한 연구에서 트램폴린 운동의 효과를 극대화하기 위해 ICT 기술을 통합한 시스템의 개발이 보고되었다. 예를 들어, 트램폴린 사용자의 동작을 분류하기 위해 팔, 다리, 허벅지, 허리 등에 관성 센서를 부착한 연구가 있었으며, 이는 동작의 정확한 분류를 가능하게 했다[5]. 또한, 고속 카메라와 3축 가속도계를 통합

한 시스템을 사용하여 트램폴린의 바운싱 특성을 기반으로 한 동작의 영향을 분석하는 연구도 진행되었다[6][7]. 이러한 연구는 주로 프로 운동선수의 성능 향상에 초점을 맞추었으나, 일반 사용자가 센서를 착용해야 한다는 불편함이 있었다.

이에 대한 해결책으로, 트램폴린 아래에 설치된 거리센서를 활용하여 사용자의 동작을 인식하고 엔터테인먼트 시스템과 연결하여 운동 의욕을 향상시키는 시스템이 개발되었다. 이 시스템은 서기, 걷기, 낮은 점프, 높이 뛰기와 같은 다양한 동작을 구현할 수 있었으나, 사용자의 세부적인 동작을 인식하는데에는 한계가 있었다[8][9]. Microsoft Kinect를 사용하여 점프 게임을 대형 트램폴린에 연결하고, 화면상의 움직임에 과장하여 사용자의 점프 능력을 향상시키는 시스템도 개발되었다[10]. 이외에도 가상 현실(VR)과 연계하여 모션 캡처 카메라를 이용한 시스템이 연구되었는데, 이 시스템은 머리, 팔, 다리의 움직임을 인식하여 움직임의 반응 정도를 판단하고, 헤드마운트디스플레이(HMD) 기기를 통해 게임의 몰입도와 오락성을 높였다[11].

이러한 국외 기술 사례들은 트램폴린 운동의 다양한 가능성을 보여주며, 고령자뿐만 아니라 모든 연령대의 사용자가 쉽게 접근할 수 있는 운동 방법을 제공하는 데 기여할 수 있다. 그러나 여전히 고령자의 근골격 상태를 전문의가 원격으로 모니터링하거나, 재활 운동을 정량적으로 평가할 수 있는 기능의 개발은 중요한 연구 주제로 남아 있다. 이는 트램폴린을 활용한 재활 운동시스템의 발전 방향을 제시하며, 국내외 연구자들에게 새로운 도전 과제를 제공한다.

본 연구에서 이러한 기술 격차를 메우고자 그림 1과 같이 전체 시스템을 구성하였다. 트램폴린과 ICT 기술을 결합하여 고령자도 쉽게 따라 할 수 있는 운동 콘텐츠를 제공하며, 실시간으로 운동 데이터를 측정하고 분석함으로써 운동 효과를 극대화하였다. 이 시스템은 운동 중 사용자의 동작을 인식하고, 사용자의 활동을 평가하여 근골격 및 균형 능력을 향상시키는 데 중점을 두었다. 또한, 거점병원 및 지역 의료 기관과 연계하여 비대면으로 근력 및 균형 능력 재활 훈련을 제공함으로써, 고령자가 자택에서도 효과적으로 운동할 수 있도록 지원하고자 한다.

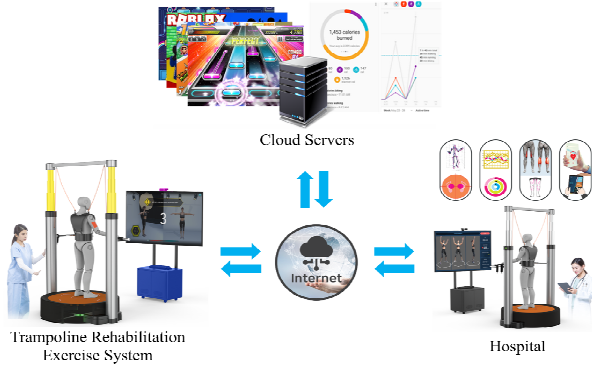


그림 1. 근력 및 균형 능력 강화를 위한 트램폴린 재활운동시스템의 전체 구성도

Fig. 1. Overall structure of trampoline rehabilitation exercise system to strengthen strength and balance ability

이와 같은 접근은 고령자의 신체적, 정신적 건강을 유지하고 향상시킬 뿐만 아니라, 신시장을 창출하고 사회적 비용을 절감하는 데에도 기여할 것으로 기대된다. 본 논문은 트램폴린 기반 운동시스템의 개발 과정과 기술적 세부 사항, 그리고 성능시험의 결과를 포함하여, 고령화 사회에서의 새로운 운동 방안을 제시한다.

본 논문은 4개의 장으로 구성된다. 2장에서는 트램폴린 시스템의 전체적인 구조와 기능을 설명한다. 3장에서는 시스템의 주요 기술인 트램폴린의 무게 중심 위치와 모션 인식, 발 위치 추정, 맥박 측정에 관한 성능을 시험하고 그 결과를 확인한다. 4장에서는 결론을 나열하고 마무리한다.

## II. 트램폴린 재활운동시스템 구성

본 시스템은 운동용 콘텐츠를 연동하여 운동의 모션 인식과 트램폴린의 접촉 위치에 따른 균형 인식, 맥박을 측정하여 사용자의 하지근력 및 균형감각 향상 훈련을 위한 운동 데이터를 실시간으로 측정하고 평가하도록 구성하였다. 트램폴린 재활운동 시스템의 전체 구성은 그림 2와 같이 트램폴린 메인 시스템과 임베디드 컴퓨터, 디스플레이용 모니터로 되어 있다. 트램폴린 메인 시스템은 트램폴린 본체와 트램폴린 위에서 사용자의 안전한 위치와 자세를 잡아줄 수 있는 언웨이팅 시스템, 사용자의 움직이는 모션 인식과 무게중심 추정을 위한 키넥트 센서, 트램폴린의 바닥에서 사용자의 발 접촉 위치

를 추정하는 카메라, 사용자의 맥박을 측정하기 위한 스마트 밴드로 구성되어 있다.

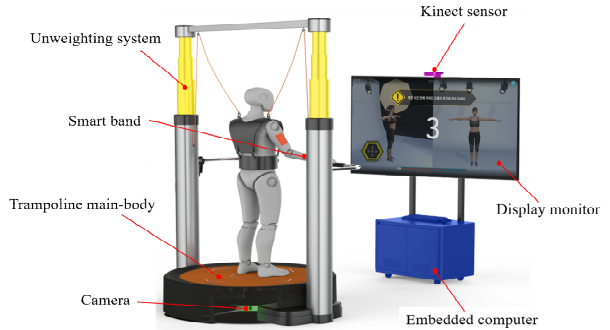


그림 2. 트램폴린 재활운동시스템 구성

Fig. 2. Composition of trampoline rehabilitation exercise system

키넥트 센서에서 모션 인식은 Microsoft 社의 Body tracking SDK를 이용하여 사람의 관절 포인트를 추정하였고, 무게중심은 관절의 PELVIS 좌표를 이용하여 위치를 추정하였다. 카메라는 Python의 OpenCV로 영상처리 하여 발을 검출하고 접촉 위치를 추정하였다. 스마트 밴드는 실시간 측정된 맥박을 Bluetooth 통신으로 임베디드 컴퓨터에 전달하여 콘텐츠의 화면에 나타냈다. 본 시스템에 적용된 키넥트 센서와 카메라, 스마트 밴드의 사양은 표 1과 같다.

표 1. 트램폴린 시스템 주요 모듈의 사양

Table 1. Specifications of trampoline system main modules

Module	Model	Usage	Specification
Kinect sensor	Azure Kinect DK (Microsoft 社)	Center of gravity, Motion recognition	1 MP Depth camera, 12 MP RGB camera
Camera	Arducam Sony IMX219	Foot position estimation	8 MP/30fps, wide-angle 175°
Smart band	HW706 (COOSPO 社)	heart rate measurement	Optical sensor array, range 10m

본 트램폴린 시스템에서는 게임 콘텐츠를 통해 운동의 다양한 동작을 제공하고, 사용자는 모니터를 보고 쉽게 동작을 따라 하도록 하였다. 사용자의 동작은 전방 및 아래에 설치되어 있는 카메라를 통해 모션 인식과 무게중심, 발 위치를 측정하고 해당 동

작을 잘 따라 하였는지를 평가하여 그에 따라 점수 표시 및 운동 데이터를 기록하도록 하였다.

### III. 성능시험 평가

#### 3.1 무게중심 위치 성능시험 평가

무게중심 위치의 성능시험 평가는 그림 3과 같이 트램폴린의 아래 6개 축에 설치되어 있는 로드셀을 이용하여 기준 무게중심 위치를 도출하고, 추정 무게중심 위치는 전면에 위치한 키넥트센서를 이용하여 배꼽(SOINE\_NAVAL, 인체의 무게중심)의 위치를 추출하고 무게중심을 계산하였다.

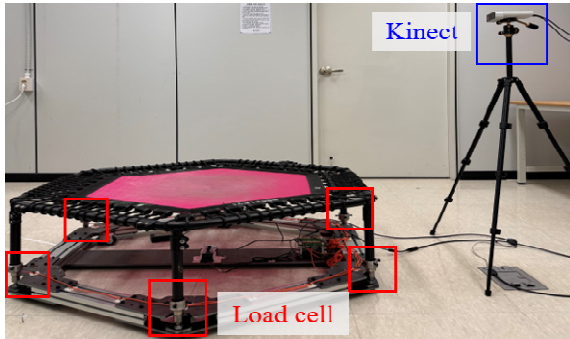


그림 3. 무게중심 추정을 위한 실험 환경  
Fig. 3. Environment for estimating center of gravity

본 연구에서는 트램폴린의 무게중심을 추정하기 위해 5명의 실험자에게 동일 동작을 수행하도록 하였다. 트램폴린의 원점을 기준으로 Y축은 중앙, X축은 어깨너비에 두 발을 위치하였다. 실험은 그림 4와 같이 실험자가 2초 간격으로 무게중심 위치를 X축 기준으로 오른쪽, 중앙, 왼쪽으로 이동하는 동작을 3회 반복하였다.

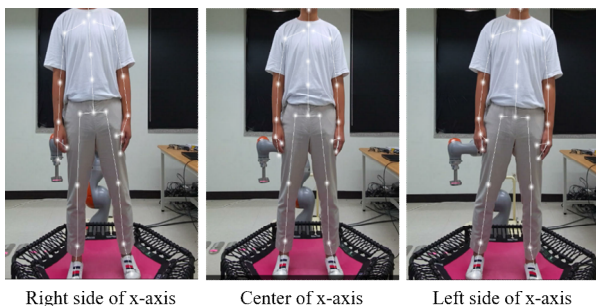


그림 4. 무게중심 위치 추정 실험 방법  
Fig. 4. Method for estimating center of gravity position

로드셀의 기준 무게중심 위치와 키넥트를 이용하여 추정한 무게중심 위치를 비교하여 식 (1)과 같이 정확도(Accuracy)를 계산하였다.

$$Accuracy(\%) = 100 - \left( \frac{|P_r - P_e|}{P_r} \right) \times 100 \quad (1)$$

여기서,  $P_r$ 은 기준 무게중심 위치이고,  $P_e$ 는 추정한 무게중심 위치이다.

표 2는 5명의 실험자에 대한 기준과 추정의 무게중심 위치, 추정 무게중심의 정확도를 나타낸다.

표 2. 무게중심 정확도 실험 결과

Table 2. Experimental results of center of gravity accuracy

Experimenter	Reference position $X, Y$ [mm]	Estimated position $X, Y$ [mm]	accuracy [%]
1	188.00, -7.00	123.35, -6.78	96.17
	-9.00, -14.00	-9.21, -13.31	96.38
	-122.00, -8.00	-166.21, -7.88	96.89
2	63.00, -38.00	63.96, -38.64	98.39
	22.00, -64.00	20.94, -63.02	96.84
	-89.00, -32.00	-86.78, -32.14	98.53
3	92.00, -30.00	87.42, -30.07	97.40
	-12.00, -22.00	-11.55, -21.99	98.11
	-84.00, -28.00	-81.24, -27.73	97.87
4	106.00, 20.00	103.93, 20.21	98.49
	5.00, 32.00	5.04, 30.48	97.25
	-92.00, 23.00	-92.04, 22.96	99.89
5	81.00, -34.00	78.78, -35.44	96.52
	-9.00, -22.00	-9.06, -22.27	99.02
	-75.00, -34.00	-27.85, -33.32	97.58

무게중심 위치는 실험자들의 동작에 따라 각각 12번의 데이터를 받았고, 무게중심 위치 X, Y에 따른 정확도를 계산하고 평균하였다. 실험 결과, 5명 실험자를 대상으로 한 평균 무게중심 정확도는 97.39%로 나타났으며, 기준 무게중심 위치와 비교하였을 때, 본 시스템이 무게중심의 위치를 매우 우수하게 추정했음을 확인하였다.

#### 3.2 모션 인식 정확도 성능시험 평가

모션 인식의 성능시험 평가는 그림 5과 같이 트램폴린에서 실험자가 리바운드 동작을 100회 반복

하게 하고, 한 번의 동작 주기 내에서 자세 유사성 점수가 가장 작게 인식되는 순간과 가장 크게 인식되는 순간을 각각 오답과 정답 동작의 시험 자세로 추출하였다.

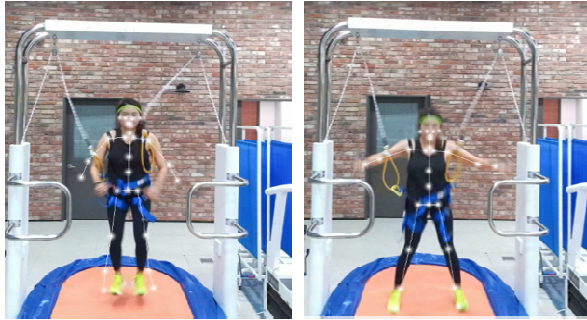


그림 5. 모션 인식 정확도 기초 실험 환경  
Fig. 5. Environment for motion recognition

정답 판정 기준 점수에 따른 오인식률(FAR)과 오거부율(FRR)을 식(2), (3)을 이용하여 계산하고, 그림 6과 같이 선도가 만나는 지점에서의 동일오류율(ERR)을 계산하여 최종 모션 인식의 정확도를 도출하였다.

$$FAR(\%) = \left( \frac{N_{FP}}{N_F} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$FRR(\%) = \left( \frac{N_{TN}}{N_F} \right) \times 100 \quad (3)$$

$$Motion\ Accuracy(\%) = 100 - ERR \quad (4)$$

여기서,  $N_{FP}$ 은 오답을 정답으로 판정한 횟수,  $N_{TN}$ 은 정답을 오답으로 판정한 횟수,  $N_F$ 는 오답의 횟수이다.

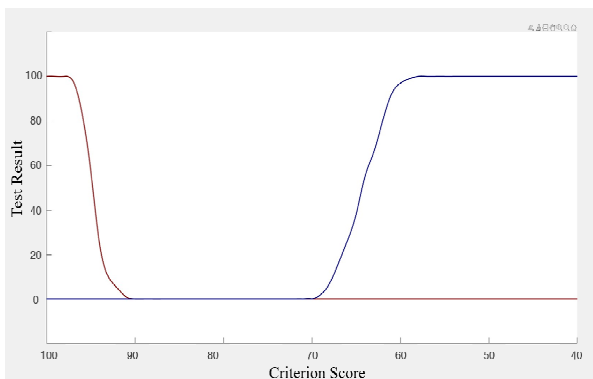


그림 6. FAR과 FRR 선도를 이용한 ERR 평가 결과  
Fig. 6. ERR evaluation using FAR and FRR diagrams

실험 결과를 통해 정답 판정 기준 점수는 71 ~ 90의 영역에서 동일오류율이 0%로 나타났고, 해당 영역에 정답 판정 기준 점수를 설정하면 오인식과 오거부가 발생하지 않음을 확인하였다. 실험을 통해 리바운드 동작에 대한 모션 인식의 정확도는 100%로 매우 우수한 성능을 보였음을 확인하였다.

### 3.3 발 위치 추정 성능시험 평가

트램폴린 위에서 실제 발의 위치를 측정하기에는 어려움이 있다. 본 연구에서는 접촉 위치를 정량화할 수 있는 머니플레이터를 이용하여 실제 위치 좌표를 측정하고, 트램폴린 아래에 설치되어 있는 카메라를 통해 추정한 위치 좌표와 비교하였다. 머니플레이터의 끝단에 지그를 설치하고, 가동 범위와 직경을 고려하여 원점에서 0, 100, 200, 300mm의 이동 가능한 거리 내에서 2차원 접촉 위치(X, Y)를 선정하였다. 추정 위치는 카메라에서 획득한 영상에서 접촉 지점의 음영을 추출하여 X, Y의 위치를 추정하였다. 또한, 접촉 깊이(Z)는 삼각형의 닳음비 공식과 음영 크기를 이용하여 추정하였다.

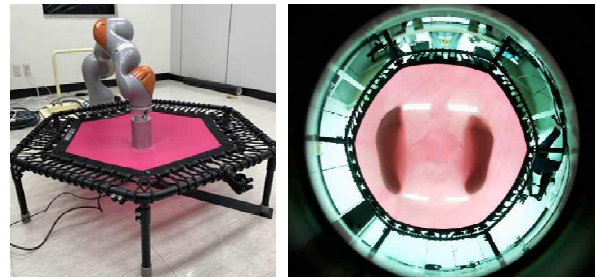


그림 7. 발 접촉 위치 추정을 위한 실험  
Fig. 7. Environment for foot contact position measurement

머니플레이터의 실제 위치와 카메라를 통해 추정한 위치의 오차는 식 (5)의 RMSE(Root Mean Square Error)를 이용하여 계산하였다.

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \hat{P}_i)^2}{N}} \quad (5)$$

여기서,  $N$ 은 실험 횟수,  $P_i$ 는 실제 접촉 위치의 좌표,  $\hat{P}_i$ 는 추정한 위치의 좌표를 나타낸다.

표 3은 발 접촉 위치의 추정에 따른 각 좌표축의 표준 오차이다. 실험을 통해 X-Y-Z 축에 대한 평균 표준 오차는 4.86 mm로 나타났으며, 이는 실제 접촉 위치와 매우 유사한 우수한 추정치임을 확인하였다.

표 3. X-Y-Z 추정 위치의 표준 오차  
Table 3. Standard Error of X-Y-Z estimation position

Axis	RMSE (mm)		
	min	max	Average
X-Y-Z	1.13	17.61	4.86
X	0.01	23.84	4.41
Y	0.02	16.01	3.90
Z	0.07	22.63	4.75

### 3.4 맥박 측정 성능시험 평가

맥박 측정의 성능시험 평가는 그림 8과 같이 트램폴린 시스템의 설치 환경에서 상용 맥박측정기와 생체정보 수집을 위한 스마트 밴드를 이용하여 실험자의 맥박을 측정하는 방법으로 진행하였다.

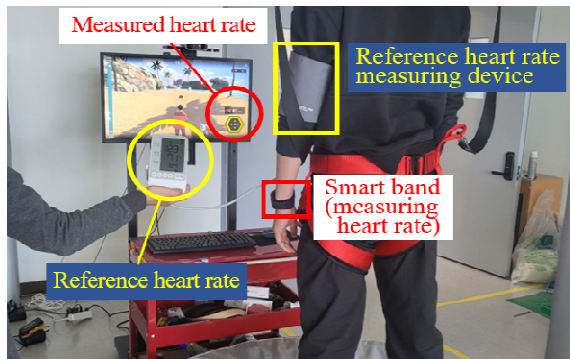


그림 8. 맥박 측정 시험 평가를 위한 실험 환경  
Fig. 8. Environment for heart rate measurement

5명의 실험자를 동일 실험 환경에서 안정을 취한 상태로 맥박을 측정하였다. 기준이 되는 상용 맥박 측정기를 각각 5회씩 측정하고, 동시에 개발에 적용된 스마트 밴드를 이용하여 평균 맥박을 측정하였다. 실험을 통해 획득한 기준과 측정 맥박의 최종 정확도는 식 (1)의 계산식을 이용하였다.

표 4는 5명의 실험자에게 맥박을 측정한 실험 결과이다. 기준 맥박에 대한 측정 맥박의 평균 정확도는 98.42%로 나타났으며, 기준 맥박과 거의 유사한 우수한 성능을 보이는 것을 확인하였다.

표 4. 맥박 측정 정확도 실험 결과  
Table 4. Results of heart rate measurement accuracy

Experimenter	No	Reference (bpm)	Measures (bpm)	Accuracy (%)	Average accuracy (%)
1 (Man, 28 age)	1st	82	84	97.56	98.34
	2nd	85	86	98.82	
	3rd	86	87	98.83	
	4th	88	89	98.86	
	5th	86	84	97.67	
2 (Man, 29 age)	1st	94	94	100	98.73
	2nd	88	88	100	
	3rd	85	87	97.64	
	4th	89	90	98.87	
	5th	105	102	97.14	
3 (Man, 52 age)	1st	105	105	100	99.25
	2nd	106	107	99.05	
	3rd	106	106	100	
	4th	107	106	99.06	
	5th	108	106	98.14	
4 (Man, 60 age)	1st	62	62	100	98.41
	2nd	63	62	98.41	
	3rd	64	63	98.43	
	4th	64	63	98.43	
	5th	63	61	96.82	
5 (Man, 46 age)	1st	76	74	97.37	97.38
	2nd	74	77	95.95	
	3rd	79	80	98.73	
	4th	76	78	97.37	
	5th	80	82	97.50	

### IV. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 고령자의 근력 및 균형 능력을 강화하기 위한 트램폴린 재활운동시스템을 제안하였다. 이 시스템은 콘텐츠와 연동하여 다양한 운동의 동작을 제공하고, 사용자는 모니터를 보고 쉽게 운동할 수 있으며, 시스템을 통해 운동의 자세를 확인 및 평가, 관리할 수 있다. 본 논문에서는 트램폴린 재활운동시스템의 주요 기술인 무게중심 위치와 모션 인식, 발 위치 추정, 맥박 측정에 대한 성능을 시험하였고, 그 결과를 통해 본 시스템의 우수성을 확인하였다.

향후 본 시스템은 거점병원, 지역 의료기관, 재활원, 요양소 등과 연계된 비대면 하지근력 및 균형 능력 재활운동시스템에 활용될 예정이다. 이 시스템을 통해 고령자가 스스로 지속적인 운동을 할 수 있게 함으로써, 근골격 유지 및 균형감각 관리에 큰 도움이 될 것으로 기대한다.

## V. 고 찰

본 논문에서 제안하는 트램폴린 제할운동시스템의 장점은 실내에서 전문가의 도움 없이도 콘텐츠가 제공하는 동작을 따라 누구나 쉽게 운동할 수 있다. 시스템은 사용자의 동작을 실시간으로 인식하여 화면에 표시하고, 이를 통해 사용자는 자신의 동작이 올바른지를 즉시 확인할 수 있다. 또한, 시스템은 사용자의 체력 및 운동능력에 맞게 운동할 수 있어 건강관리를 효과적으로 할 수 있다. 단점으로는, 초기 설치 과정에서 트램폴린 시스템의 설치가 번거로움이 있고, 카메라가 빛 반사에 민감하여 설치 위치의 선정이 중요하다. 하지만 본 시스템은 대부분 실내의 정해진 위치에 설치되고, 콘텐츠가 제공하는 정해진 동작을 사용자가 따라 행동하기 때문에, 카메라의 미세한 오감지가 있더라도 동작 인식 및 위치 추정에는 문제가 되지 않는 것을 실험으로 확인하였다.

## References

- [1] K. Michał, "Utilisation of Post-Activation Performance Enhancement in Elderly Adults", *Journal of Clinical Medicine*, Vol. 10, No. 11, pp. 2483, Jun. 2021. <https://doi.org/10.3390/jcm10112483>.
- [2] Y. Kwon and D. Kim, "Real-Time Workout Posture Correction using OpenCV and MediaPip", *Journal of KIIT*, Vol. 20, No. 1, pp. 199-208, Jan. 2022. <https://doi.org/10.14801/jkiit.2022.20.1.199>.
- [3] S. K. Park, J. K. Park, H. I. Won, S. H. Choi, C. H. Kim, S. Lee, and M. Y. Kim, "Three-Dimensional Foot Position Estimation Based on Footprint Shadow Image Processing and Deep Learning for Smart Trampoline Fitness System", *Sensors*, Vol. 22, No. 18, pp. 6922, Sep. 2022. <https://doi.org/10.3390/s22186922>.
- [4] H. D. Kweon, J. S. Park, K. S. Ha, and S. W. Lee, "Development of a trampoline rehabilitation exercise system to strengthen the muscle strength and balance ability of the elderly", *KSMTE Annual Autumn Conference*, Gangneung, Korea, Jul. 2023.
- [5] T. Helten, H. Brock, M. Müller, and H. P. Seidel, "Classification of trampoline jumps using inertial sensors", *Sports Eng*, Vol. 14, pp. 155-164, Nov. 2011. <https://doi.org/10.1007/s12283-011-0081-4>.
- [6] D. Eager, C. Chapman, and K. Bondoc, "Characterisation of trampoline bounce using acceleration", In *Proceedings of the 7th Australasian Congress on Applied Mechanics*, Adelaide, Australia, Dec. 2012.
- [7] P. W. Connolly, G. C. Silvestre, and C. J. Bleakley, "Automated Identification of Trampoline Skills Using Computer Vision Extracted Pose Estimation", *Computer Science*, arXiv:1709.03399, Sep. 2017. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1709.03399>.
- [8] S. Kazuhito, H. Mori, and J. Hoshino, "The trampoline entertainment system for aiding exercise", the 8th International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications in Industry, Yokohama, Japan, Dec. 2009. <https://doi.org/10.1145/1670252.1670288>.
- [9] H. Mori, K. Shiratori, T. Fujieda, and J. Hoshino, "Versatile training field: The wellness entertainment system using trampoline interface", *ACM SIGGRAPH 2009 Emerging Technologies*, New Orleans Louisiana, No. 25, Aug. 2009. <https://doi.org/10.1145/1597956.1597981>.
- [10] K. Raine, L. Holsti, and P. Hämäläinen, "Empowering the exercise: A body-controlled trampoline training game", *International Journal of Computer Science in Sport*, Vol. 13, No. 1, pp. 6-23, Jan. 2014.
- [11] M. Tiator, O. Köse, R. Wiche, C. Geiger, and F. Dorn, "Trampoline jumping with a head-mounted display in virtual reality entertainment", *Springer, Intelligent Technologies for Interactive Entertainment*, Vol. 215, pp. 105-119, Feb. 2018. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-73062-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-73062-2_8).

저자소개

2009년 4월 ~ 2012년 11월 : Yamagata University Dept. of Bio-System Engineering 조교수

2012년 12월 ~ 현재 : 한국생산기술연구원

모빌리티시스템그룹 수석연구원(그룹장)

관심분야 : 물리적 인간-로봇상호작용, 로봇기술 응용  
운동기구, 로봇안전, 영상 기반 촉각센서

최 승 환 (Seung-Hwan Choi)



2012년 2월 : 동아대학교  
전자공학과(공학사)

2014년 2월 : 부산대학교  
로봇융합전공(공학석사)

2013년 12월 ~ 현재 :  
한국생산기술연구원 연구원  
관심분야 : 로봇제어 및 신호처리,

이상 검출 및 상태진단, AI 알고리즘

박 건 석 (Gunseok Park)



2021년 2월 : 금오공과대학교  
메디컬IT융합공학과(공학사)

2022년 9월 ~ 현재 : 경북대학교  
전자전기공학부 석사과정

2022년 5월 ~ 현재 :  
한국생산기술연구원 연구원  
관심분야 : 로봇제어 및 영상처리,

AI 알고리즘, 힘/강성 추정

권 혁 동 (Hyeok-Dong Kweon)



1990년 2월 : 동아대학교  
기계공학과(공학사)

1992년 2월 : 동아대학교  
기계공학과(공학석사)

2019년 2월 : 안동대학교  
정밀기계공학과(공학박사)

2014년 6월 ~ 현재 : (주)동아금속

연구소장

관심분야 : 바이오-의료 로봇 및 재활로봇의 로봇 기구학

이 수 웅 (Suwoong Lee)



1999년 2월 : 동아대학교  
전기공학과(공학사)

2002년 3월 : University of  
Tsukuba(공학석사)

2005년 3월 : University of  
Tsukuba(공학박사)

2005년 4월 ~ 2009년 3월 : 일본

AIST(산업기술종합연구소) Intelligent System Research  
Institute 박사후연구원