

증강현실 기반 신체운동이 고령자의 보행속도 및 균형능력에 미치는 영향

정 보 라¹ · 장 윤 희^{2*} · 강 정 선¹ · 김 규 석³

¹근로복지공단 재활공학연구소 의료융합연구팀 연구원 ^{2*}근로복지공단 재활공학연구소 의료융합연구팀 책임연구원

³근로복지공단 재활공학연구소 의료융합연구팀 연구위원

Effects of Augmented Reality-based Physical Exercise on Walking Speed and Balance Ability in Older Adults

Bo-Ra Jeong¹ · Yun-Hee Chang^{2*} · Jung-Sun Kang¹ · Gyoo-Suk Kim³

¹Researcher, Medical Convergence Team, Rehabilitation Engineering Research Institute, Korea Workers' Compensation and Welfare Service, Incheon 21417, Korea

^{2*}Principal Researcher, Medical Convergence Team, Rehabilitation Engineering Research Institute, Korea Workers' Compensation and Welfare Service, Incheon 21417, Korea

³Senior Researcher, Medical Convergence Team, Rehabilitation Engineering Research Institute, Korea Workers' Compensation and Welfare Service, Incheon 21417, Korea

[요 약]

증강현실기술은 사용자와 실시간 상호작용이 가능하고 재미와 동기부여를 제공한다는 점에서 운동재활 분야에 활용 기대성이 높다. 노인들의 낙상 예방과 건강증진을 위한 운동 방법으로 증강현실 기반 신체 운동이 도움이 될 것으로 예상되지만, 기존 연구에서는 주로 뇌졸중 및 파킨슨 환자들을 대상으로 한 연구가 진행되었다. 따라서 본 연구에서는 고령자에 대한 증강현실 기반 신체훈련의 효과성을 검증하고자 노인을 대상으로 훈련 중재 후 이들의 보행과 균형능력에 미치는 영향을 평가하였다. 본 연구는 비동등성 대조군 사전-사후 실험설계이며, 16명의 건강한 노인이 본 연구에 참여하였다. 실험군과 대조군에게 8주 동안 각각 증강현실 기반 신체운동과 일반신체운동을 중재하였다. 연구결과, 증강현실 기반 신체훈련 시 일반신체훈련보다 보행속도와 분속수가 유의하게 증가되었으며, 균형능력과 관련된 일어나 걷기 검사, 8자 모양 보행 검사 및 사분면 스텝 검사의 수행시간이 유의하게 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구를 통해 증강현실 기반 신체훈련이 일반 전통 훈련방법보다 고령자의 보행과 균형능력 개선에 효과적임을 확인하였으며, 향후 노인 낙상 예방 및 신체 건강 증진을 위한 중재법으로서의 활용이 기대된다.

[Abstract]

Augmented reality (AR) technology has high expectations for use in the field of exercise rehabilitation to prevent falls and improve health in older adults; however, most studies have been conducted on older adults with physical disabilities. Therefore, in this study, we analyzed changes in walking and balance ability after a training intervention to verify the effectiveness of AR-based physical training in older adults. Participants were 16 healthy older adults; experimental and control groups underwent AR-based physical exercise and general physical exercise, respectively, for eight weeks. The results showed that, compared with the control group, walking speed and cadence were significantly increased, and the performance times of timed up and go, figure-of-8 walking, and four square step tests were significantly decreased in the experimental group. Our results indicated that AR-based physical training was more effective than traditional training in improving the walking speed and balance ability in older adults and was expected to be used as an intervention method to prevent falls and improve their physical health.

색인어 : 증강현실, 균형, 노인 낙상, 신체운동, 보행

Keyword : Augmented Reality, Balance, Falls in Older Adults, Physical Exercise, Walking

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2023.24.12.3013>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<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 15 November 2023; **Revised** 12 December 2023

Accepted 14 December 2023

***Corresponding Author; Yun-Hee Chang**

Tel: +82-32-509-5249

E-mail: yhchang2@comwel.or.kr

1. 서론

연령에 따른 보행변화는 주로 60~70대에 시작되며, 이 때 보행속도가 감소하고 반응시간과 체중이동 시간이 증가하며 이로 인해 동작변화에 대한 회복능력이 저하되는데 이러한 특성이 낙상의 위험도를 높인다[1]. 고령자에게 빈번하게 발생하는 낙상은 작게는 타박상을 야기하지만 심한 경우 골절, 뇌손상 등과 같은 심각한 신체 손상을 초래한다. 이와 같은 이유로 낙상 예방을 위한 다양한 중재방법과 그 효과를 확인하는 연구가 활발히 진행되어 왔다.

고령자의 낙상을 예방하기 위한 방법에는 운동 및 약물에 의한 방법[2], 행동수정요법[3], 영양공급프로그램[4] 등 다각적인 방법이 있으나 운동 중재가 가장 보편적인 방법으로 사용되고 있다. 운동 중재 중에서도 근력[5],[6] 및 근지구력[7]을 강화하는 훈련과 보행[8] 및 균형 훈련[6]에 대한 효과가 증명되었다. 그러나 고령자의 낙상 예방에 공통적으로 포함되는 주요 운동 중재는 하지 근력 강화와 균형 증진운동, 그리고 이들의 복합 중재 훈련이라고 할 수 있으며 나아가 단일 중재 방법 보다 근력강화와 유산소, 균형과 보행훈련이 포함된 복합 중재 훈련이 고령자의 근력과 균형능력을 증가시켜 낙상 예방에 효과적이라는 결과가 보고되었다[9]. 또한 체간의 코어근육강화 훈련도 낙상 예방에 효과적임이 확인되었다[10],[11]. 그러나 고령자는 신체적, 환경적 제한으로 인해 훈련을 지속하기가 어렵기 때문에 지속적으로 훈련할 수 있는 동기를 부여하는 것이 중요하며, 이를 위해서 다양한 훈련 콘텐츠가 필요하다[12].

증강현실은 카메라를 통해 보이는 현실세계와 컴퓨터 내의 2차원 물체를 합성하여 보여주는 기술로서 최근 게임, 스포츠, 의료환경 및 운동 분야에서 활발히 이용되고 있다[13]. 특히 증강현실 기술은 재활분야에 널리 사용되는데, 1) 실시간 상호작용이 가능하므로 모범 동작을 따라 하면서 본인의 동작을 수정 및 보완할 수 있어 정확한 동작을 가능하게 하고, 2) 다양한 콘텐츠를 활용하여 재미와 동기부여를 가능하게 하기 때문에 재활훈련에 매우 효과적이다[14]. 선행연구에 따르면 가상현실에서의 상호작용은 자세조절에 영향을 주며, 균형 및 지남력 유지를 위한 감각자극을 활발하게 하여 낙상 예방에 효과적이라는 결과가 보고되었다[15]. 뿐만 아니라, 운동에 대한 관심과 동기 부여가 가능하고 결과적으로 근력, 관절 운동범위 증가, 운동 조절능력 향상 등의 효과를 나타내었다[16]. 이로 인해 증강현실 기반 운동 중재 프로그램은 운동에 관심이 적거나 운동에 어려움을 겪는 노인에게도 효과적일 수 있다. 또한 최근 지역사회를 중심으로 운동 센터나 복지관에서 노인들을 위한 생활 운동 프로그램이 활발히 운영되고 있는데, 증강현실 기반 운동 프로그램은 재미와 동기를 부여하고 효과적인 운동을 유도한다는 측면에서 지역사회 노인들의 건강 유지에 도움을 줄 수 있을 것이다. 그러나 대부분의 증강현실 기반 운동 훈련 프로그램은 뇌졸중, 편마비 등의 환자를 대상으로 진행되었기 때문에 노인들에게 적용되

는 효과에 대한 분석은 부족하다. 이에 본 연구에서는 고령자에 대한 증강현실 기반 신체훈련의 효과성을 검증하고자 노인을 대상으로 훈련 중재 후 이들의 보행과 균형능력에 미치는 영향을 평가하였다.

II. 연구방법

2-1 실험설계

본 연구는 유사 실험(quasi-experiment)으로 비동등성 대조군 사전-사후 설계(nonequivalent control group pretest-posttest design)이다. 본 연구에는 65세 이상 건강한 노인 남녀 16명(남성 5명, 여성 11명)이 실험에 참여하였으며, 실험군 8명과 대조군 8명으로 구성되었다. 훈련중재로 실험군에게는 증강현실기반 신체운동을 대조군에게는 전통적인 신체운동을 제공하였으며, 훈련 전후 사전-사후 검사를 실시하였다. 훈련 기간은 8주 동안 주 3회, 총 24회 훈련을 실시하였으며. 훈련은 2023년 4월10일부터 8월18일까지 재활공학연구소 재활운동관에서 실시하였다(그림 1).

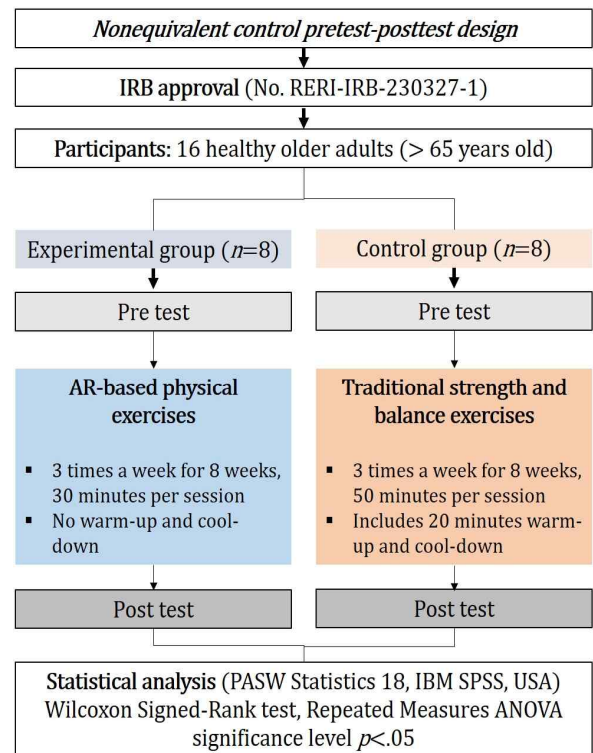


그림 1. 실험설계 개요

Fig. 1. Experimental design schematic

연구대상자는 인천 소재 재활공학연구소 인근에 거주하는 남녀 노인을 대상으로 모집하였으며, 지원자 20명 중 대상자 선정기준을 만족하는 16명을 선정하였다. 대상자 선정 기준

은 독립적인 일상생활활동이 가능한 자, 한국간이정신상태 검사(K-MMSE; Korean version of Mini-Mental State Exam) 점수가 24점 이상인 자, 안질환으로 인한 시각 장애가 없는 자, 본 연구를 이해하기 위한 인지능력에 문제가 없는 자로 하였다. 또한 연구대상자 선정기준을 충족하더라도 최근 6개월 이내에 심혈관 질환을 앓거나 심각한 근골격계 질환으로 신체 운동을 할 수 없는 자, 신체활동 준비도 설문지(PAR-Q; physical activity readiness questionnaire)에서 2개 이상의 문항에 해당하는 자는 본 연구에서 제외하였다 [17]. 본 연구는 재활공학연구소의 연구승인(RERI-IRB-230327-1)을 받아 수행되었으며, 모든 참여자에게 연구의 목적과 실험 과정을 설명하고 서면 동의를 받아 진행하였다. 선정된 연구대상자의 일반적인 특성은 표 1과 같다.

표 1. 연구대상자 정보

Table 1. Participants information

	Experimental group (n=8)	Control group (n=8)
Male / Female	1 / 7	4 / 4
Age (years)	72.8±5.3*	76.8±5.0
Height (cm)	159.0±7.1	160.8±7.6
Weight (kg)	66.3±9.5	65.3±10.3
Body Mass Index (kg/m ²)	26.2±3.1	25.2±3.7

*Mean ± standard deviation

2-2 훈련 방법

1) 증강현실 기반 신체운동

증강현실 기반 신체운동을 위해 국내에서 개발한 유인케어 시스템(UINCARE, UINCARE Corp., KOREA)을 사용하였다. 해당 시스템은 3D Depth 카메라, 64인치 모니터, 운영 프로그램 및 운동 콘텐츠로 구성되어 있으며, 콘텐츠는 300여 종의 신체동작으로 구성되어 있다.

본 연구에서는 유인케어 시스템의 다양한 콘텐츠 중 근력 및 균형능력 강화에 초점을 맞추어 표 2와 같이 훈련 프로토콜을 설계하였다. 증강현실 운동시스템의 사용방법은 다음과 같다. 먼저 시스템을 실행한 후 대상자는 3D depth camera의 전방 1.5m 거리에 위치한다. 대상자가 카메라 앞에서 움직이지 않는 자세로 서 있게 되면 카메라는 대상자의 관절을 인식하며 화면에 대상자의 모습과 함께 관절 세그먼트가 형성되게 된다. 이후 미리 설정한 운동 콘텐츠를 실행하면 화면 좌측에 모범 동작이 표시되고, 화면 우측에는 목표횟수와 수행 횟수가 표시된다. 사용자는 화면 동작을 따라 운동을 실시하게 되며, 훈련 시 신체가 타겟 위치에 정확히 도달할 수 있도록 안내선과 목표 지점이 표시되며 목표 지점에 정확히 도달했을 시 성공 안내 음이 나오고 수행 횟수가 카운트 된다. 그림 2는 증강현실 기반 신체운동에 대한 예시이다.



그림 2. 증강현실 기반 신체운동 예시

Fig. 2. Augmented reality-based physical exercises

2) 일반 신체 운동

대조군에게 적용된 전통적인 신체운동 프로그램은 지역사회에서 주로 행해지는 대표적인 노인 운동을 바탕으로 근력운동과 균형운동으로 구성하였다[18]. 대조군 훈련은 준비운동(10분) - 본 운동(30분) - 마무리 운동(10분) 순서로 실시하였다. 준비운동은 체온을 올리고 전신 근육을 부드럽게 만들며 관절의 가동범위를 증가시키는 운동을 포함하였다. 본 운동으로 1-2주차에는 상지와 하지 근력운동을 실시하였으며, 손에 1.5kg 덤벨을 들고 주관절 굴곡, 견관절 굴곡, 견관절 외전 동작을 각각 10회×3세트 실시하였다. 또한 하지 근력 강화를 위해 발목에 모래주머니 2kg을 차고 의자에 앉은 상태에서 무릎을 구부렸다 펴는 동작을 각각 10회×8세트 실시하였다. 3-4주차에는 체간 근력 운동과 균형 운동을 주로 실시하였다. 이 시기에는 운동의 난이도를 높이기 위해 불안정한 지면 환경(폼 보드와 보수)을 이용하였으며, 의자 위에 폼 보드를 올려놓고 앉은 다음 주관절을 90도 구부린 상태로 아쿠아백(5kg 또는 10kg)을 들고 자세 유지하기, 앉은 자세에서 세라밴드(theraband)를 한 발로 밟고 대각선으로 잡아당기기, 보수(Bosu®, Ohio, USA) 위에 서서 자세 유지하기 훈련을 실시하였다. 5-6주차에는 상지와 하지 근력운동을 운동기구를 이용하여 실시하였으며, 버티칼 체스트(저항 10kg 또는 15kg)와 체스트 프레스(저항 10kg 또는 15kg)를 각각 10회×5세트, 레그 익스텐션(저항 15kg 또는 20kg)을 10회×8세트, 의자 잡고 한 발로 천천히 앉기 10회×4세트를 실시하였다. 마지막 7-8주차는 3-4주차 훈련과 마찬가지로 체간 근력과 균형능력을 강화하였으며, 난이도를 높이기 위해 아쿠아백(10kg 또는 15kg)의 무게를 높이고, 보수에 서서 공 던지기 운동을 추가로 실시하였다. 마무리 운동은 운동 후 지친 근육을 이완하는 정적 스트레칭을 실시하였다(그림 3). 모든 운동은 노년층의 특성을 고려하여 신체에 무리가 가지 않는 범위 내에서 주로 저항도 및 중강도 수준의 운동을 실시하였으며, 모든 운동은 전문 물리치료사의 지도하에 진행되었다.

표 2. 증강현실 기반 복합신체훈련 프로토콜

Table 2. Augmented reality-based physical training protocol

Training weeks	Training categories	Training contents
1-2 weeks	Upper limb strength exercises	Extend both arms and raise them sideways, 3 sets of 10 times
		Bend both arms and rotate your forearms upwards, 2 sets of 7 times
		Bring both arms to the body and rotate the forearms out, 2 sets of 7 times
	Lower limb strength exercises	Sitting and holding a medicine ball diagonally, 2 sets of 7 times
		Sitting and standing up from chair, 2 sets of 7 times
		Standing thigh elastic outward raises, 2 sets of 7 times
Standing, bending knees and raising them as much as possible, 2 sets of 7 times		
3-5 weeks	Upper limb strength exercises	Bring both arms to the body and bend the elbows, 2 sets of 10 times
		Sit and hold dumbbells (1kg) and raise both hands at the same time, 2 sets of 7 times
		Sitting body side bend, 1 set of 7 times
	Lower limb strength exercises, Balance exercise	Standing thigh lifts outside the elastic band, 2 sets of 5 times
		Standing, holding a chair on a step box and raising one foot, 2 sets of 7 times
6-8 weeks	Upper limb strength exercises	Stand, extend one arm to the side and pull with the opposite hand, 1 set of 5 times
	Lower limb strength exercises Balance exercises	Standing dumbbell lift to the side, 2 sets of 7 times
		Standing and lifting dumbbells to chest, 2 sets of 7 times
		Standing, holding dumbbells, bending knees 90 degrees, 2 sets of 7 times
		Bend your knees and raise them as much as possible, 2 sets of 7 times
	Trunk muscle strength exercises Balance exercises	Step your feet to the side and extend your arms to the side, 1 set of 7 times
		Stand sideways and raise your knees over the step box, 2 sets of 5 times



그림 3. 일반 신체운동 예시

Fig. 3. Traditional physical exercises

2-3 평가 방법

1) 보행의 시공간적 요인 평가

보행의 일반적인 향상도를 평가하기 위해 보폭(step width, cm), 보행속도(walking velocity, cm/s), 활보장(stride length, cm) 분속수(cadence, steps/min), 입각기(stance phase, %), 보장(step length, cm), 보장비율(step length ratio)과 같은 시공간적 요인(spatio-temporal

parameters)을 분석하였다. 보폭은 발목관절 중심에서 측정되는 발 사이의 좌우 거리를 의미하며, 보행속도는 하나 이상의 활보(stride)에 걸쳐 측정된 진행방향에 따른 선형변위의 변화율이다. 보장은 한쪽 발이 지면과 접촉하는 지점부터 다른 발과 동일한 지점이 접촉하는 다음 발생까지의 거리를 의미한다. 입각기 시간은 발이 지면에 닿는 전체지지 시간으로 정의되며, 보행주기에 대한 백분율(%)로 표시된다. 보장비율은 우측의 보장을 좌측의 보장으로 나눈 값으로 1에 가까운 비율은 보다 대칭적인 보행을 한 것으로 간주한다.

보행분석을 위해 8대의 적외선카메라(Raptor 4s, Motion Analysis Corp., USA), 힘 측정판(AMTI, Advanced Mechanical Technology, Inc., USA), 데이터 수신장치 및 측정용 소프트웨어(Cortex 6.3, Motion Analysis, USA)로 구성된 3차원 동작분석 시스템을 사용하였다. Helen Hayes 마커 셋[19]에 따라 19개의 반사마커를 피검자 하지의 해부학적 위치에 부착하여 정적 검사를 실시하고, 4개의 내측 마커를 제거한 후 동적 보행을 실시하였다. 연구대상자는 10 m 길이의 보행로를 자신이 선택한 보행속도(Self-Selected Walking Speed)로 보행하였으며, 총 5회 보행을 실시한 후 이들의 평균값을 분석하였다.

2) 일어나 걷기 검사

일어나 걷기 검사(TUGT; timed up and go test)는 동적 균형능력을 평가하는 방법으로, 의자에 앉은 상태에서 일어나

3m 직진 후 반환점을 돌아 다시 의자로 돌아와서 앉을 때까지 소요되는 시간을 측정하며, 총 3회 실시한 후 이들의 평균값을 분석하였다[20].

3) 8자 모양 보행 검사

8자 모양 보행 검사(8FWT; 8-figure walking test)는 보행의 협응성을 평가하는 방법으로, 3.6×1.6m 직사각형의 양쪽 끝에 고깔을 두고 각 고깔에서 2.4m 위치에 고정식 의자를 두어 실험환경을 설정한다. 의자에 앉은 상태에서 일어나 한쪽 고깔을 바깥쪽에서 안쪽방향으로 회전하고, 다시 의자에 앉은 후, 다시 일어나 반대편 고깔을 회전하고 돌아오는데 소요되는 시간을 측정하였다[21]. 총 2회 반복한 후 이들의 평균값을 분석하였다.

4) 사분면 스텝 검사

사분면 스텝 검사(FSST; four square step test)는 동적 균형, 스텝핑, 체중 이동, 공간 능력을 평가하는 방법으로 지면에 높이 2.5cm, 길이 90cm인 4개의 막대를 ‘+’ 모양으로 놓고 넘어가며 평가를 실시한다. 사분면 중 한 면인 첫 번째 면에서 출발하여 시계방향으로 막대를 넘은 뒤 반시계 방향으로 되돌아서 출발한 면에 다시 도착하는 데 소요되는 시간을 측정하였다. 이 때, 옆, 뒤, 앞으로 이동하며 막대를 건드린 경우 처음으로 돌아가 다시 시작하도록 하였고, 총 3회 반복 측정 후 가장 낮은 소요시간을 분석하였다[22].

2-4 실험절차

연구 참여자는 신체 운동 시 각자 편안한 복장과 운동화를 착용하였으며, 실험군과 대조군 모두 운동 전 PAR-Q 검사와 신체 상태 문진을 통해 운동에 무리가 없는지 당일의 건강 상태를 확인하였다. 실험군은 준비운동과 마무리 운동 없이 본 운동만으로 30분 동안 증강현실기반 신체운동을 실시하였으며, 대조군(일반운동군)은 준비 운동(10분) - 본 운동(30분) - 마무리 운동(10분) 순으로 50분간 일반 근력 및 균형운동을 실시하였다. 본 연구 참여자는 사전-사후 평가를 제외하고 총 24회, 8주 동안 운동에 참여하였으며, 운동중재 시작 전과 후에 사전-사후 평가를 실시하였다.

2-5 데이터 분석

모든 기술통계는 평균과 표준편차를 분석하였다. 통계적 분석을 위해 SPSS (ver. 18.0) 통계 프로그램을 사용하였으며, 집단 간 특성 비교를 위해 독립표본 t 검정(Independent t-test)을 실시하였으며, 집단 내 전후 차이 비교를 위해 윌콕슨 부호 순위 검정(Wilcoxon Signed-Rank Test)을 실시하였다. 또한 집단 간 변화량의 차이 비교를 위해 반복측정 분산분석(RM ANOVA; Repeated Measures Analysis of Variance)을 실시하였으며, 모든 결과의 유의 수준은 $p < .05$ 로 하였다.

III. 연구결과

3-1 보행의 시공간적 변수

훈련 방법에 따른 시공간적 요인 분석 결과는 표 3과 같다.

표 3. 훈련 전후 시공간적 요인 차이

Table 3. Differences in spatiotemporal parameters before and after training

		Experimental group	Control group	F-value
Step width	Pre	11.3±2.0	12.4±2.0	
	Post	11.3±1.8	10.1±2.5	
	z score	-.135	-1.820	.004
Walking speed	Pre	119.3±11.6	110.4±15.1	
	Post	125.9±12.2	106.7±14.0	
	z score	-1.820	-.840	5.593*
Stride length	Pre	121.4±9.9	118.3±9.3	
	Post	125.7±11.5	116.7±10.6	
	z score	-1.260	-.560	1.699
Cadence	Pre	117.6±4.6	111.1±7.8	
	Post	120.1±4.4	109.1±6.3	
	z score	-1.352	-.840	11.686**
Stance time	Pre	62.6±0.5	64.2±1.8	
	Post	63.5±1.0	62.9±1.1	
	z score	-2.395	-1.963*	0.926
Step length	Pre	60.6±4.9	59.0±4.7	
	Post	62.8±5.8	58.1±5.4	
	z score	-1.332	-.560	1.770
Step length ratio	Pre	1.02±0.05	0.96±0.04	
	Post	1.01±0.04	0.98±0.07	
	z score	-.256	-.280	4.914*

* $p < .05$, ** $p < .01$

보폭은 실험군과 대조군 모두 훈련 전후 변화와 그룹 간 유의한 차이가 없었다. 보행속도의 경우 실험군은 훈련 전보다 훈련 후 5.5% 증가했지만 대조군은 훈련 전보다 훈련 후 오히려 3.4% 감소하는 경향을 보였다. 두 그룹 모두 보행속도의 훈련 전후 차이에는 통계적인 유의성을 보이지 않았지만, 두 그룹 간 변화량의 차이는 통계적으로 유의하였다($p < .05$). 활보장의 경우, 실험군과 대조군 모두 훈련 전후 유의한 차이가 없었으며, 두 그룹 간 변화량의 차이에도 통계적 유의성이 없었다. 분속수의 경우 실험군은 훈련 전보다 훈련 후 2.1% 증가하였으며, 대조군은 훈련 전보다 훈련 후에 오히려 1.8% 감소하였다. 이 때 두 그룹 모두 훈련 전 후 값에 유의한 차이가 없었으나 두 그룹 간의 변화량에는 유의한 차이가 있었다($p < .01$). 입각기의 경우 실험군은 훈련 전보다 훈련 후 1.3% 증가하고 대조군은 훈련 전보다 훈련 후 2.0% 감소하는 것으로 나타났으며, 대조군의 훈련 전후 입각기 시간은 통계적으로 유의한 차이를 보였지만($p < .05$), 두 그룹 간 변화량의 차이는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 보장의 경우 두 그룹의 훈련 전후, 두 그룹 간 변화량의 차이 모두 통계적인 유의성이 없었다. 보장 비율은 실험군과 대조군 모두 훈련 전후 값에 유의한 차이가 없었으나 실험군과 대조군 간의 평균값 변화량에는 유의한 차이가 있었다($p < .05$).

3-2 균형 능력 평가

훈련 방법에 따른 균형능력 평가 결과는 표 4와 같다. TUGT에서 실험군의 경우 훈련 전보다 훈련 후 7.0% 유의하게 단축되었으며($p < .05$), 대조군의 경우 훈련 전 2.4% 단축되었으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 이 때 두 그룹 간의 평균값 변화량에는 유의한 차이를 보였다($p < .05$). 8FWT에서 두 그룹 모두 훈련 전후 각각 6.1%, 11.1% 통계적으로 유의하게 감소하였으며($p < .05$), 두 그룹 변화량의 차이도 통계적으로 유의하였다($p < .01$). FSST에서 실험군의 경우 훈련 전보다 훈련 후에 11.1% 유의하게 단축되었으나($p < .05$), 대조군에서는 훈련 전후 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 이 때 두 그룹 간의 변화량 차이는 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < .01$).

표 4. 훈련 전후 균형 능력 차이

Table 4. Differences in balance ability before and after training

		Experimental group	Control group	F-value
TUGT	Pre	7.1±0.9	8.2±1.1	
	Post	6.6±0.9	8.0±1.0	
	z score	-2.100*	-.676	6.879*
8FWT	Pre	15.7±1.4	19.8±2.6	
	Post	14.7±1.5	17.6±2.0	
	z score	-2.243*	-2.100*	11.914**
FSST	Pre	8.1±0.7	10.2±2.0	
	Post	7.2±0.9	9.7±1.4	
	z score	-2.380*	-.840	15.325**

* $p < .05$, ** $p < .01$

IV. 논 의

본 연구에서는 증강현실 기반 신체훈련이 고령자의 균형 및 보행에 미치는 효과를 규명하기 위해 진행되었으며, 본 연구에서 검증한 연구결과들에 대하여 논의하고자 한다.

4-1 보행의 시공간적 변수에 미치는 영향

훈련 종료 후, 시공간적 변수 중 보행속도, 분속수와 보장 비율에서 실험군이 대조군보다 통계적으로 유의한 향상을 보였다. 실험군의 보행속도는 훈련 후에 훈련 전보다 5.5% 빨라진 반면 대조군의 보행속도는 오히려 3.4% 느려지는 경향을 보였다. 보행속도와 연관성이 높은 분속수도 실험군에서는 증가하는 반면, 대조군에서는 오히려 감소하는 경향을 보였으며 두 그룹 간 변화량의 차이에도 유의성을 확인하였다.

보행속도는 일반적인 보행의 향상을 논할 때 주로 사용하는 지표로서 보행속도가 빨라지는 것은 일반적으로 보행이 향상되었다고 해석한다[23]. 보행속도는 시간당 이동한 거리로 계산되는데 보장을 길게 하거나 분속수를 높이는 방법을

통해 속도를 높일 수 있는데, 본 연구결과를 보면 실험군의 참가자들이 보행속도를 높이기 위해 스텝의 길이보다는 스텝의 횟수를 높여 보행속도를 증가시킨 것을 확인할 수 있었다. 보행속도를 높이기 위해서는 하지 근육 특히 종아리 근육의 강화가 중요한데[24], 직접적으로 종아리 근육의 최대 근수축력을 측정하지는 않았지만 증강현실 운동에서 제공한 하지 근력 강화 운동과 하지 균형 훈련이 전반적으로 다리 근육을 강화시켰을 것으로 예상된다.

또한 보장 비율은 우측의 보장을 좌측의 보장으로 나눈 값으로 1에 가까울수록 대칭적인 보행을 한 것으로 해석한다[25]. 본 연구에 참여한 두 그룹 모두 훈련 전 0.96~1.02로 대부분 1에 가까운 대칭적인 보행을 하였으나 훈련 후에 실험군과 대조군 모두 통계적으로 유의하지는 않았지만 1에 더욱 근접하는 경향을 보였다.

대조군에서는 보폭이 18.5% 감소하면서 보행의 안정성이 높아지는 경향을 보였으나 통계적으로 유의하지는 않았다. 보폭은 발과 발 사이의 간격으로 보행의 안정성이 높을수록 좁아지는 경향을 보인다[26]. 대조군에서 훈련 후에 보폭이 감소한 점은 전통적인 운동이 보행의 안정성에 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단되지만, 이 결과는 통계적인 유의성이 없어서 결과를 해석하는데 제한점이 있다.

한편 운동과 보행속도의 관계에 대해 연구한 선행연구들은 대부분 일관성 있는 결과를 보여주지는 않았다. 일부 연구에서는 운동 후 보행속도가 상당히 개선되었다고 보고하였지만[27],[28], 다른 연구에서는 보행속도 향상에 이점이 없다고 보고하였다[29]. 또한 Daley와 Spinks(2000)는 노인이 느린 보행일 경우에만 운동 후 보행이 개선된다고 하였다[30].

본 연구의 실험설계와 유사한 Cao 등(2007)의 연구에서는 12주 동안 노인여성에게 복합증재훈련을 적용한 결과 신체적 수행 능력은 향상되었지만, 보행과 관련된 보행속도, 분속수, 활보장은 오히려 감소했다고 보고하였다[31]. 이 연구에서 저자들은 노인 대상자의 보행속도 기준선이 평균 1.37m/s로 이미 높았던 관계로 큰 개선을 보이지 않았다고 주장하였으며, 선행연구에 참여한 피험자의 초기 건강 상태, 보행속도의 기준선, 테스트 프로토콜의 차이로 인해 보행속도의 개선 차이를 직접적으로 논의하기는 어렵다고 하였다.

이렇듯 선행연구들에서 보여준 보행속도의 개선 결과가 다양하여 정확한 비교는 어렵지만, 우리 연구 결과에서 일반 신체운동보다 증강현실 운동 후에 보행속도가 유의하게 개선된 점은 매우 의미미한 결과로 해석된다. 선행연구에서 증강현실 기반 운동 시 운동교정에 대한 텍스트, 이미지 및 오디오 피드백 제공 시 시간이 지남에 따라 운동 성공률이 증가하였으며, 이는 다양한 피드백 제공이 사용자의 동작을 올바르게 수행하도록 유도하여 운동을 보다 효과적으로 수행할 수 있도록 돕는다고 하였다[32]. 이와 같이 우리 연구에서도 증강현실 시스템에서 제공한 정확한 운동 동작에 대한 가이드와 시각적 피드백이 운동효과에 긍정적인 영향을 미쳤을 것으로 생각된다.

4-2 균형에 미치는 영향

균형능력은 일상생활을 영위하는 데 필수 요소이며[33] 특히 고령화에 따른 균형능력 저하는 낙상의 원인이 되므로, 고령자의 균형능력은 매우 중요한 신체적 요소이다. 본 연구에서는 동적 균형능력 평가를 위해 기능적 보행 검사(TUG, 8FWT, FSST)를 실시하였다. 연구결과, 증강현실 기반 훈련을 실시한 실험군의 경우 TUG, 8FWT, FSST 에서 훈련 전보다 훈련 후에 통계적으로 유의하게 향상된 반면 일반신체 훈련을 실시한 대조군은 8FWT에서만 유의한 향상을 보였다. 또한 실험군과 대조군 간 평균값의 변화량은 TUG, 8FWT, FSST 에서 모두 유의한 차이를 보였는데 이는 균형능력 향상에 있어 증강현실 기반 복합중재훈련이 전통적인 복합중재 훈련 보다 유의미하게 효과적임을 시사한다.

증강현실 기반의 훈련은 화면과 훈련자의 실시간 상호작용을 통해 시각적인 피드백을 받게 되어 자세 수정 및 보완이 가능하며[14], 상호작용을 통해 자세조절 능력에 영향을 주어 균형 유지를 위한 감각자극을 활발하게 함으로써[15], 결과적으로 균형능력 향상에 기여한 것으로 판단된다. 뿐만 아니라, 증강현실 기반 훈련은 동작을 정확하게 수행해야만 훈련이 진행되므로 훈련의 정확도가 높아지고, 이에 상응하여 균형능력 향상에 영향을 미친 것으로 생각된다.

선행연구들은 다양한 증강현실 기반 훈련을 통해 균형능력의 향상을 보고하였다. 이병희 등은 뇌졸중 환자를 대상으로 증강현실기반의 트레드밀 보행 훈련을 실시한 결과 TUGT에서 일반적인 트레드밀 훈련보다 증강현실기반 운동이 효과적임을 보고하였으며, 증강현실 기반 보행훈련이 뇌졸중 환자의 균형능력 개선에 효과적임을 시사하였다[34]. Yen 등은 파킨슨 환자를 대상으로 증강현실 기반 균형훈련을 실시한 결과 자세조절 능력이 유의하게 향상됨을 보고하였으며[35], 불완전 척수손상환자를 대상으로 home based 증강현실 훈련을 실시한 결과 하지 근력, 균형, 기능적 이동성의 향상을 보고하였다[36].

Lee 등의 연구에서도 증강현실 기반 오타고(Otago) 운동이 노인 여성의 근력과 균형 능력을 개선하여 낙상 예방에 효과적이라고 하였으며[37], Jeon과 Kim은 65세 이상 노인 여성을 대상으로 AR 기반의 근력운동을 실시한 결과 대조군보다 골격근 질량, 골격근 지수 및 근육 매개 변수가 더 많이 증가했으며, TUGT 검사에서도 유의한 향상을 보고하였다[38]. 또한 Lee 등은 젊은 성인을 대상으로 증강현실 기반의 고유수용성 훈련을 실시한 결과 균형, 포지셔닝(positioning) 감각 및 유연성의 향상을 보고하였다[39].

앞서 언급한 선행연구들은 일반 신체운동보다 증강현실 기반 운동이 시각적 피드백을 통한 감각자극을 제공함으로써 근력 및 균형능력 향상에 보다 효과적임을 보고하였다. 본 연구에서도 증강현실 운동이 전통적인 일반 운동보다 균형능력 향상에 보다 효과적임을 확인하였으며, 증강현실기반 훈련 시스템을 통한 사용자와의 실시간 상호작용과 정확한 운동 가

이드 제공이 전통적인 일반 신체운동보다 고령자의 균형능력 향상에 효과적인 기여를 한 것으로 사료된다.

증강현실 기반 신체운동은 반복적이고 지루할 수 있는 전통적인 일반 신체운동에 비해 비교적 짧은 시간 내 효과적인 운동을 제공할 수 있을 것으로 생각된다. 서론에 언급한 바와 같이 지역사회 기반 노인 운동 프로그램에 증강현실 기반 신체운동을 제공한다면 전문가의 지속적인 코칭 없이도 노인 스스로 정확한 운동 자세를 습득하여 운동의 질과 효과를 높일 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구는 증강현실 기반 신체훈련이 고령자의 균형과 보행에 미치는 영향을 평가하였다. 16명의 건강한 노인을 두 그룹으로 나누어 8주 동안 증강현실 기반 신체운동과 일반 신체운동을 각각 중재한 후 균형 및 보행능력의 변화를 비교한 결과, 증강현실 기반 훈련을 실시했을 때 전통적인 신체훈련보다 보행속도와 분속수가 유의하게 향상되었으며, 균형능력을 평가한 TUGT, 8FWT 및 FSST 검사 모두 유의하게 향상되었다. 본 연구를 통해 증강현실 기반 신체훈련이 일반신체훈련 방법보다 고령자의 보행속도와 균형 능력 향상에 효과적임을 확인하였으며, 향후 대상자 수를 확대하고 성별 및 운동 프로토콜에 따른 운동효과 차이를 검증할 필요가 있다.

본 연구는 증강현실 기반 복합신체 훈련의 효과성 검증함으로써 노인 낙상 예방을 위한 훈련 프로토콜 개발을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 문화체육관광부 지역사회기반 장애인 재활운동 서비스 기술 개발(SR202106002, 인지신체 복합중재 재활운동 증강 디바이스 기술 개발) 사업의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] M. W. Whittle, *Gait Analysis: An Introduction*, Butterworth-Heinemann, 2014.
- [2] A. J. Campbell, M. C. Robertson, M. M. Gardner, R. N. Norton, and D. M. Buchner, "Falls Prevention Over 2 Years: A Randomized Controlled Trial in Women 80 Years and Older," *Age and Ageing*, Vol. 28, No. 6, pp. 513-518, October 1999. <https://doi.org/10.1093/ageing/28.6.513>
- [3] S. Reinsch, P. MacRae, P. A. Lachenbruch, and J. S. Tobis, "Attempts to Prevent Falls and Injury: A Prospective Community Study," *The Gerontologist*, Vol. 32, No. 4, pp.

- 450-456, August 1992. <https://doi.org/10.1093/geront/32.4.450>
- [4] N. K. Latham, C. S. Anderson, and I. R. Reid, "Effects of Vitamin D Supplementation on Strength, Physical Performance, and Falls in Older Persons: A Systematic Review," *Journal of the American Geriatrics Society*, Vol. 51, No. 9, pp. 1219-1226, August 2003. <https://doi.org/10.1046/j.1532-5415.2003.51405.x>
- [5] H. C. Boshuizen, L. Stemmerik, M. H. Westhoff, and M. Hopman-Rock, "The Effects of Physical Therapists' Guidance on Improvement in a Strength-training Program for the Frail Elderly," *Journal of Aging and Physical Activity*, Vol. 13, No. 1, pp. 5-22, 2005. <https://doi.org/10.1123/japa.13.1.5>
- [6] M. M. Islam, E. Nasu, M. E. Rogers, D. Koizumi, N. L. Rogers, and N. Takeshima, "Effects of Combined Sensory and Muscular Training on Balance in Japanese Older Adults," *Preventive Medicine*, Vol. 39, No. 6, pp. 1148-1155, December 2004. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2004.04.048>
- [7] M. E. Cress, D. M. Buchner, K. A. Questad, P. C. Esselman, B. J. DeLateur, and R. S. Schwartz, "Exercise: Effects on Physical Functional Performance in Independent Older Adults," *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, Vol. 54, No. 5, pp. M242-M248, May 1999. <https://doi.org/10.1093/gerona/54.5.M242>
- [8] T. Paillard, C. Lafont, M. C. Costes-Salon, D. Riviere, and P. Dupui, "Effects of Brisk Walking on Static and Dynamic Balance, Locomotion, Body Composition, and Aerobic Capacity in Ageing Healthy Active Men," *International Journal of Sports Medicine*, Vol. 25, No. 7, pp. 539-546, May 2004. <https://doi.org/10.1055/s-2004-820948>
- [9] U. Englund, H. Littbrand, A. Sondell, U. Pettersson, and G. Bucht, "A 1-year Combined Weight-bearing Training Program Is Beneficial for Bone Mineral Density and Neuromuscular Function in Older Women," *Osteoporosis International*, Vol. 16, No. 9, pp. 1117-1123, January 2005. <https://doi.org/10.1007/s00198-004-1821-0>
- [10] G. E. Hicks, E. M. Simonsick, T. B. Harris, A. B. Newman, D. K. Weiner, M. A. Nevitt, and F. A. Tylavsky, "Trunk Muscle Composition as a Predictor of Reduced Functional Capacity in the Health, Aging and Body Composition Study: The Moderating Role of Back Pain," *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, Vol. 60, No. 11, pp. 1420-1424, November 2005. <https://doi.org/10.1093/gerona/60.11.1420>
- [11] P. Suri, D. K. Kiely, S. G. Leveille, W. R. Frontera, and J. F. Bean, "Trunk Muscle Attributes Are Associated with Balance and Mobility in Older Adults: A Pilot Study," *PM&R*, Vol. 1, No. 10, pp. 916-924, October 2009. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2009.09.009>
- [12] A. Maula, N. LaFond, E. Orton, S. Iliffe, S. Audsley, K. Vedhara, and D. Kendrick, "Use It or Lose It: A Qualitative Study of the Maintenance of Physical Activity in Older Adults," *BMC Geriatrics*, Vol. 19, No. 1, pp. 1-12, December 2019. <https://doi.org/10.1186/s12877-019-1366-x>
- [13] D. H. Suh, "A Study on the Effectiveness of the Image Recognition Technique of Augmented Reality Contents," *Cartoon and Animation Studies*, Vol. 41, pp. 337-356, December 2015. <https://doi.org/10.7230/KOSCAS.2015.41.337>
- [14] M. K. Holden, "Virtual Environments for Motor Rehabilitation," *Cyber Psychology & Behavior*, Vol. 8, No. 3, pp. 187-211, June 2005. <https://doi.org/10.1089/cpb.2005.8.187>
- [15] S. Virk and K. M. V. Mcconville, "Virtual Reality Applications in Improving Postural Control and Minimizing Falls," in *Proceedings of 2006 International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, New York: NY, pp. 2694-2697, August 2006. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2006.260751>
- [16] A. S. Merians, D. Jack, R. Boian, M. Tremaine, G. C. Burdea, S. V. Adamovich, and H. Poizner, "Virtual Reality -Augmented Rehabilitation for Patients Following Stroke," *Physical Therapy*, Vol. 82, No. 9, pp. 898-915, September 2002. <https://doi.org/10.1093/ptj/82.9.898>
- [17] S. Thomas, J. Reading, R. J. Shephard, "Revision of the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q)," *Canadian Journal of Sport Sciences*, Vol. 17, No. 4, pp. 338-345, December 1992.
- [18] M. Izquierdo, G. Duque, and J. E. Morley, "Physical Activity Guidelines for Older People: Knowledge Gaps and Future Directions," *The Lancet Healthy Longevity*, Vol. 2, No. 6, pp. E380-E383, June 2021. [https://doi.org/10.1016/S2666-7568\(21\)00079-9](https://doi.org/10.1016/S2666-7568(21)00079-9)
- [19] M. P. Kadaba, H. K. Ramakrishnan, and M. E. Wootten, "Measurement of Lower Extremity Kinematics During Level Walking," *Journal of Orthopaedic Research*, Vol. 8, No. 3, pp. 383-392, May 1990. <https://doi.org/10.1002/jor.1100080310>
- [20] D. Podsiadlo and S. Richardson, "The Timed "Up & Go": A Test of Basic Functional Mobility for Frail Elderly Persons," *Journal of the American Geriatrics Society*, Vol. 39, No. 2, pp. 142-148, February 1991. <https://doi.org/10.1177/01632758910390020142>

- 111/j.1532-5415.1991.tb01616.x
- [21] R. J. Hess, J. S. Brach, S. R. Piva, and J. M. Vanswearingen, "Walking Skill Can Be Assessed in Older Adults: Validity of the Figure-of-8 Walk Test," *Physical Therapy*, Vol. 90, No. 1, pp. 89-99, January 2010. <https://doi.org/10.2522/ptj.20080121>
- [22] W. Dite and V. A. Temple, "A Clinical Test of Stepping and Change of Direction to Identify Multiple Falling Older Adults," *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, Vol. 83, No. 11, pp. 1566-1571, November 2002. <https://doi.org/10.1053/apmr.2002.35469>
- [23] H. B. Skinner and D. J. Effeney, "Gait Analysis in Amputees," *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, Vol. 64, No. 2, pp. 82-89, April 1985.
- [24] R. Van Abbema, M. De Greef, C. Crajé, W. Krijnen, H. Hobbelen, and C. Van Der Schans, "What Type, or Combination of Exercise Can Improve Preferred Gait Speed in Older Adults? A Meta-analysis," *BMC Geriatrics*, Vol. 15, No. 1, pp. 1-16, July 2015. <https://doi.org/10.1186/s12877-015-0061-9>
- [25] Y. H. Chang, T. S. Bae, S. K. Kim, M. S. Mun, and W. H. Lee, "Intact Hip and Knee Joint Moment in Coronal Plane with Unilateral Transfemoral Amputee," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 12, No. 1, pp. 129-134, February 2011. <https://doi.org/10.1007/s12541-011-0016-9>
- [26] J. Perry, *Gait Analysis: Normal and Pathological Function*, NJ: Slack, 1992.
- [27] J. O. Judge, M. Underwood, and T. Gennosa, "Exercise to Improve Gait Velocity in Older Persons," *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, Vol. 74, No. 4, pp. 400-406, April 1993.
- [28] S. R. Lord, D. G. Lloyd, M. Nirui, J. Raymond, P. Williams, and R. A. Stewart, "The Effect of Exercise on Gait Patterns in Older Women: A Randomized Controlled Trial," *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, Vol. 51, No. 2, pp. M64-M70, March 1996. <https://doi.org/10.1093/gerona/51a.2.m64>
- [29] D. M. Buchner, M. E. Cress, B. J. De Lateur, P. C. Esselman, A. J. Margherita, R. Price, and E. H. Wagner, "The Effect of Strength and Endurance Training on Gait, Balance, Fall Risk, and Health Services Use in Community-living Older Adults," *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, Vol. 52A, No. 4, pp. M218-M224, July 1997. <https://doi.org/10.1093/gerona/52a.4.m218>
- [30] M. J. Daley and W. L. Spinks, "Exercise, Mobility and Aging," *Sports Medicine*, Vol. 29, No. 1, pp. 1-12, September 2000. <https://doi.org/10.2165/00007256-200029010-00001>
- [31] Z. B. Cao, A. Maeda, N. Shima, H. Kurata, and H. Nishizono, "The Effect of a 12-Week Combined Exercise Intervention Program on Physical Performance and Gait Kinematics in Community-dwelling Elderly Women," *Journal of Physiological Anthropology*, Vol. 26, No. 3, pp. 325-332, 2007. <https://doi.org/10.2114/jpa2.26.325>
- [32] V. C. Cavalcanti, M. I. Ferria, V. Teichrieb, R. R. Barioni, W. F. M. Correia, and A. E. Gama, "Usability and Effects of Text, Image and Audio Feedback on Exercise Correction During Augmented Reality Based Motor Rehabilitation," *Computers & Graphics*, Vol. 85, pp. 100-110, December 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2019.10.001>
- [33] C. Sherrington, S. R. Lord, and C. F. Finch, "Physical Activity Interventions to Prevent Falls Among Older People: Update of the Evidence," *Journal of Science and Medicine in Sport*, Vol. 7, No. 1, pp. 43-51, April 2004. [https://doi.org/10.1016/S1440-2440\(04\)80277-9](https://doi.org/10.1016/S1440-2440(04)80277-9)
- [34] B. H. Lee, W. J. Yu, and J. H. Jung, "The Study of Clinical Usefulness of the Augmented Reality-Based Gait Training On Balance and Gait Function of Stroke Patients," *Journal of Special Education & Rehabilitation Science*, Vol. 49, No. 3, pp. 219-239, 2010.
- [35] C. Y. Yen, K. H. Lin, M. H. Hu, R. M. Wu, T. W. Lu, and C. H. Lin, "Effects of Virtual Reality-Augmented Balance Training on Sensory Organization and Attentional Demand for Postural Control in People with Parkinson Disease: A Randomized Controlled Trial," *Physical Therapy*, Vol. 91, No. 6, pp. 862-874, June 2011. <https://doi.org/10.2522/ptj.20100050>
- [36] M. Villiger, J. Liviero, L. Awai, R. Stoop, P. Pyk, R. Clijnsen, and M. Bolliger, "Home-based Virtual Reality-augmented Training Improves Lower Limb Muscle Strength, Balance, and Functional Mobility Following Chronic Incomplete Spinal Cord Injury," *Frontiers in Neurology*, Vol. 8, No. 635, November 2017. <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00635>
- [37] J. Lee, H. N. Yoo, and B. H. Lee, "Effects of Augmented Reality-based Otago Exercise on Balance, Gait, and Physical Factors in Elderly Women to Prevent Falls: A Randomized Controlled Trial," *Journal of Physical Therapy Science*, Vol. 29, No. 9, pp. 1586-1589, 2017. <https://doi.org/10.1589/jpts.29.1586>
- [38] S. W. Jeon and J. Y. Kim, "Effects of Augmented-reality-based Exercise on Muscle Parameters, Physical Performance, and Exercise Self-Efficacy for

Older Adults,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 17, No. 9, 3260, May 2020. <https://doi.org/10.3390/ijerph17093260>

- [39] J. W. Lee, J. H. Yu, J. H. Hong, D. Y. Lee, J. S. Kim, and S. G. Kim, “The Effect of Augmented Reality-Based Proprioceptive Training Program on Balance, Positioning Sensation and Flexibility in Healthy Young Adults: A Randomized Controlled Trial,” *Healthcare*, Vol. 10, No. 7, 1202, June 2022. <https://doi.org/10.3390/healthcare10071202>



정보라(Bo-Ra Jeong)

2014년 : 연세대학교 대학원 (공학석사-의공학)

2014년~현 재: 근로복지공단 재활공학연구소 의료융합연구팀 연구원

※ 관심분야 : 의료공학(medical engineering), 재활(rehabilitation), 동작분석(motion analysis) 등



장윤희(Yun-Hee Chang)

2006년 : 삼육대학교 일반대학원 (이학석사)

2012년 : 삼육대학교 일반대학원 (이학박사-물리치료학)

2007년~현 재: 근로복지공단 재활공학연구소 의료융합연구팀 책임연구원

※ 관심분야 : 재활보조장치(rehabilitation assistive devices), 생체역학(biomechanics), 동작분석(motion analysis)



강정선(Jung-Sun Kang)

2007년 : 삼육대학교 일반대학원 (이학석사-물리치료학)

2015년~현 재: 근로복지공단 재활공학연구소 의료융합연구팀 연구원

※ 관심분야 : 재활보조장치(rehabilitation assistive devices), 생체역학(biomechanics), 절단자 재활(amputee rehabilitation) 등



김규석(Gyoo-Suk Kim)

1992년 : 연세대학교 대학원 (공학석사)

2009년 : 연세대학교 대학원 (공학박사-기계공학)

1994년~현 재: 근로복지공단 재활공학연구소 의료융합연구팀 연구위원

※ 관심분야 : 지능형 로봇 시스템(intelligent robot system), 인간-기계 인터페이스(man machine interface), 웨어러블 로봇 시스템(wearable robot system) 등