

RESEARCH ARTICLE

Interactive game design for elderly hand rehabilitation using real-time hand gesture recognition

Yibo Zhang, Sungbae Jo

Department of Industrial Design, Cheongju University, Republic of Korea

Corresponding Author: Sungbae Jo (josb@cju.ac.kr)

ABSTRACT

As global aging accelerates, the prevalence of hand joint disorders among the elderly is increasing, leading to reduced functional independence and quality of life. Traditional physical rehabilitation methods, although clinically effective, often suffer from low adherence due to their repetitive and monotonous nature, especially among older adults. This study addresses these challenges by developing an interactive rehabilitation game system that integrates real-time hand gesture recognition. The proposed system, developed using the Unity engine and MediaPipe, captures seven distinct hand gestures in real time and provides immediate feedback through visual and auditory channels. The game includes gamification elements such as rhythmic interactions, scoring systems, and adaptive difficulty levels, all designed with senior-friendly user interfaces to improve accessibility and engagement. A two-week training program was conducted with 50 elderly participants aged 65 and above, many of whom had symptoms related to arthritis, joint stiffness, and reduced grip strength. Pre- and post-assessments of range of motion (ROM) and grip strength were conducted, alongside subjective evaluations of usability and user satisfaction. Results showed statistically significant improvements in both ROM (average increase of 13°) and grip strength (average increase of 3 kg), with high levels of engagement and positive feedback regarding the system's interactivity and motivational design. These findings suggest that interactive games based on real-time gesture recognition offer substantial potential as an effective and engaging tool for elderly hand rehabilitation, particularly in home-based and self-guided contexts.



Open Access

Citation: Zhang Y, Jo S. 2025. Interactive game design for elderly hand rehabilitation using real-time hand gesture recognition. Journal of Intellectual Property Education & Research 13(1):85-96.

DOI: <https://doi.org/10.12972/kosiper.2025.13.6>

Received: May 12, 2025

Revised: June 02, 2025

Accepted: June 10, 2025

Published: June 19, 2025

Copyright: © 2025 The Korean Society of Intellectual Property Education & Research

Funding: The author received no financial support for this article.

Conflict of interest: No potential conflict of interest relevant to this article was reported.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial (https://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.

KEYWORDS

hand gesture recognition, elderly physical rehabilitation, interactive games, mediapipe

1. 서론

전 세계적인 고령화로 인해 노년층의 관절 질환 발병률이 높아지고 있으며, 특히 손가락 관절의 유연성 저하로 일상생활 수행에 어려움을 겪는 사례가 증가하고 있다[1]. 이러한 손 기능 저하 문제는 삶의 질에 큰 영향을 미치므로 꾸준한 재활 훈련이 필수적이다[2]. 그러나 기존의 전통적인 재활 훈련은 효과가 있음에도 불구하고 반복적이고 단조로운 특성 때문에 노인들이 지속적으로 참여하기 어렵고, 재활 효과도 제한되는 한계가 있다[3].

본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로 실시간 손동작 인식 기술을 활용한 인터랙티브 게임을 재활 훈련에 도입하였다. Unity3D와 MediaPipe 기반의 손 제스처 인식 기술을 통해 사용자의 손동작을 실시간으로 추적하고 즉각적인 피드백을 제공하는 게임형 재활 시스템을 설계하였다. 게임적 요소(리듬 게임 형태의 미션, 점수 및 보상 피드백 등)를 재활 과정에 융합함으로써 훈련의 재미와 참여도를 높여 사용자들의 지속적 참여를 유도하고자 하였다.

본 논문에서는 개발된 손동작 인식 기반 재활 게임의 디자인 개요(난이도 체계, 피드백 메커니즘 등)와 실험 연구 방법을 제시하고, 50명 고령자 대상의 사용자 평가 결과 및 통계 분석(SPSS)을 통해 해당 인터랙티브 게임의 재활 효과를 디자인학 관점에서 고찰하고자 한다.

2. 이론적 배경

재활 훈련의 효과는 무엇보다 훈련 지속성과 참여도에 크게 좌우된다. 지루한 재활 운동을 게임화함으로써 몰입도를 높이고 동기부여를 강화하려는 시도가 다수 이루어져왔다. 게임 기반 재활은 기존 치료 대비 재미와 상호작용성을 제공하여 사용자 경험을 향상시키고, 결과적으로 훈련 순응도(Adherence)를 높인다는 장점이 보고되고 있다[4]. 예를 들어, 가상현실 및 인터랙티브 게임을 활용한 재활 프로그램이 뇌졸중 환자의 기능 회복과 동기 향상에 도움을 준 사례들이 있으며[5], 노인 대상 연구에서도 신체 운동을 게임과 접목했을 때 긍정적 효과가 관찰되었다[6]. Puyjarinet 등(2022)은 리듬 기반의 인터랙티브 훈련이 관절 운동 유연성 향상에 효과적임을 입증하였고[7], Park 등(2019)은 게임을 활용한 손 훈련이 손 근력 강화에 유의미한 도움을 준다고 보고하였다[8].

또한 손 기능 평가 지표로서 관절 가동범위(ROM)와 악력이 널리 사용된다. ROM(Range of Motion)은 골관절염 및 류마티스 등 손 질환 재활 평가의 핵심 지표로, 손가락의 최대 굴곡-신전 각도를 각도로 나타낸다. 악력(Grip Strength) 역시 손 기능을 객관적으로 평가하는 대표 지표로서 악력계로 측정되며, 임상에서 표준적인 평가 방법으로 자리잡고 있다. 이러한 지표들은 재활 전후 손 기능 변화를 정량화하는 데 필수적이며, 본 연구에서도 주요 효과 측정으로 사용하였다[9].

인터페이스 디자인 측면에서는 노인 사용자들이 디지털 기기를 사용할 때 직관적인 UI와 명확한 피드백이 중요하다. 노인은 젊은 층에 비해 인지 및 감각 기능이 저하된 경우가 있어 복잡한 인터페이스나 미약한 피드백은 사용성을 떨어뜨릴 수 있다[10]. 따라서 본 연구의 게임은 손동작 인식의 정확도를 높이고, 사용자에게 실시간 시각/청각 피드백을 주어 자신이 올바르게 동작을 수행하고 있는지 즉각 알 수 있도록 설계되었다.

3. 연구방법

3.1. 연구 대상

본 연구는 노인의 손 기능 장애 재활을 목적으로 하여, 손 관절염을 중심으로 손가락 강직, 통증, 근력 저하 등 다양한 손 관련 기능 저하 증상을 가진 고령자를 대상으로 하였다. 연구 참여자는 모두 만 65세 이상의 지역 사회 거주자로, 지역 복지시설 및 노인 커뮤니티를 통해 자발적으로 모집되었으며, 총 50명으

로 구성되었다. 성별 구성은 남녀 각각 25명으로 성비 균형을 고려하였고, 평균 연령은 72.7세(표준편차 ± 4.3)였다. 참여자의 손 질환 이력은 사전 인터뷰를 통해 확인하였으며, 류마티스 관절염 21명, 손가락 강직 및 굴신 장애 14명, 노화로 인한 일반적인 관절 강직 및 통증을 경험한 자 15명으로 조사되었다. 이 중 복지기관 또는 일상적 물리 치료를 통해 재활 치료 경험이 있는 참여자는 43명(86%)이었고, 재활 경험이 없는 참여자는 7명(14%)이었다. 모든 참여자는 연구 목적과 절차에 대한 충분한 설명을 들은 후 서면 동의서를 제출하였으며, 사전 조사 과정을 통해 손 기능 상태와 일상생활 수행 능력 등을 확인한 뒤 실시간 손동작 인식 기반의 인터랙티브 재활 게임에 참여하였다.

3.2. 재활 게임 설계

인터랙티브 재활 게임은 Unity3D 엔진과 MediaPipe 기반 손동작 인식 기술을 활용하여 개발되었다. 일반 웹캠(또는 노트북 내장 카메라)을 통해 사용자의 손동작 7가지를 실시간 인식하며, 인식 가능한 제스처에는 ‘주먹 쥐기’, ‘손가락 벌리기’, ‘엄지 벌리기’, ‘손가락 굽혀 손바닥 터치(엄지척-좋아요)’, ‘엄지와 검지 집기 (OK 사인)’, ‘가상 공 쥐기’, ‘손목 돌리기’가 포함된다. 게임 진행 방식은 음악 리듬에 맞춰 화면 우위쪽에서 아래쪽으로 이동하는 표식(노트)에 맞게 사용자가 해당 손동작을 수행하면 이를 인식하여 성공 여부를 판정하는 리듬 게임 형식이다. 손동작 수행 타이밍과 정확도에 따라 Perfect (100점), Good (60점), Miss (0점)의 판정을 부여하고 누적 점수를 제공하며, 연속으로 성공 시 추가 점수를 부여하는 콤보(Combo) 보너스 시스템도 포함하였다. 사용자 동작은 실시간 카메라 피드백으로 화면에 표시되어 자신의 동작을 즉각 확인할 수 있고, 성공/실패 여부에 따른 애니메이션 효과와 효과음 등의 청각 피드백이 함께 제공되어 몰입감을 높였다. 인터페이스는 노인 친화적으로 설계되어 큰 아이콘과 글씨를 사용하고 조작 단계를 최소화했으며, 한국어를 포함한 다국어를 지원하여 사용자 편의성을 제고하였다(Figure 1).

본 게임은 단순한 반복 훈련 방식이 아닌, 몰입도와 동기 유발 효과가 높은 리듬 기반 인터랙티브 게임 형식을 채택하였다. 기존의 손 재활 훈련 프로그램은 대부분 단순한 손가락 굴곡 운동 반복이나 정적인 버튼 누르기 방식으로 구성되어 있어, 고령자에게 단조롭고 지속적인 참여가 어려운 한계가 있다. 또한 일부 상용 재활 게임은 복잡한 컨트롤러 조작이나 메뉴 탐색을 요구하거나, 손 전체 움직임을 중심으로 설계되어 있어 미세 손동작 기능 향상에는 적합하지 않은 경우가 많다.

반면, 본 연구에서 설계한 게임은 음악과 시각적 피드백, 점수 시스템을 결합한 리듬 기반 인터페이스를 통해 사용자의 참여도와 재미를 높이며, 자연스럽게 자발적인 반복 훈련을 유도한다는 장점이 있다. 리듬 요소는 손동작 타이밍 조절과 집중력 향상에 기여하며, 특히 지루함을 느끼기 쉬운 고령자에게 효과적인 자극을 제공한다. 아울러, 본 시스템은 고가의 센서나 착용형 장비 없이도 일반 웹캠과 MediaPipe 기반의 AI 손동작 인식 기술을 활용함으로써 높은 접근성과 경제성을 확보하였다. 이러한 구조는 가정 내에서도 손쉽게 적용 가능하며, 물리적 환경 제약 없이 정밀한 손 재활 훈련을 가능하게 한다.

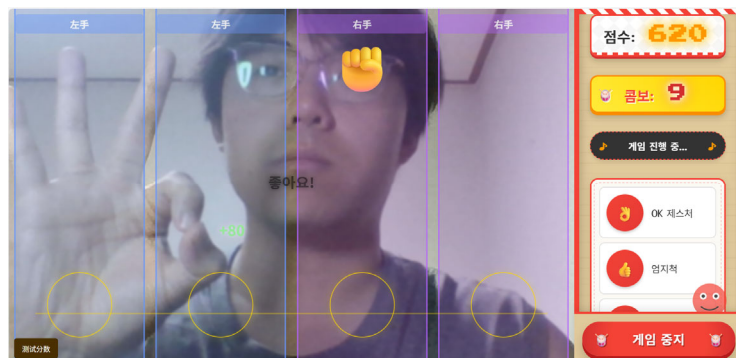


Figure 1. Game user interface

본 게임에서 인식하는 7가지 손 제스처는 저난이도의 기본 동작부터 미세한 조절이 요구되는 고난이도 동작까지 다양한 재활 목표를 아우르도록 설계되었다(Table 1). 예를 들어, 주먹 쥐기나 손가락 벌리기와 같은 기본적인 제스처는 비교적 단순한 근육군의 반복적인 활성화를 통해 근력과 건 활주 기능을 촉진하여 빠른 반응성과 초기 단계의 기능 회복에 적합하다. 중간 난이도의 엄지 벌리기 및 손가락 굽혀 손바닥 터치 동작은 손가락 간의 협응과 독립적인 근육 제어를 강화하여 엄지의 대립 기능과 손가락의 분리 조절 능력 회복을 목적으로 한다[11].

Table 1. Definition and theoretical basis of the difficulty of each gesture

번호	제스처 이름	동작 설명	재활 목표	이론적 근거 및 설명
1	주먹 쥐기	손가락을 구부려 주먹을 줍	굴곡근을 활성화하고 건 활주를 촉진함	주먹 쥐기 동작은 표층/심층 굴곡근을 동원하여 굴곡근의 근력을 강화시킴. 재활 훈련에서는 굴곡근의 수축을 통해 관절의 유연성을 회복시키고, 힘줄의 활주를 촉진함
2	손가락 벌리기	손바닥을 펴고 다섯 손가락을 최대한 벌림	수축을 해소하고 손등 근육을 강화함	손가락을 벌리는 동작은 손등의 골간근 및 신전근을 활성화하여 관절염으로 인한 굴곡 구축을 완화하고, 손가락의 기초적인 외전 기능을 회복하는 데 도움이 됨
3	엄지 벌리기	엄지와 검지를 L자 형태로 벌림	엄지의 대립 및 안정성을 개선함	해당 동작은 엄지의 단장근, 장장근 등을 활성화시켜 엄지의 외전 및 대립 기능을 회복시키고, 류마티스 관절염으로 인한 엄지 기능 약화를 예방함
4	손가락 굽혀 손바닥 터치 (엄지척-좋아요)	손가락을 굽혀 손바닥에 닿게 함	손가락의 독립적 조절 및 건 활주 기능 향상	각 손가락을 손바닥 쪽으로 굽히는 동작은 굴곡근의 조절 능력을 강화시켜 주며, 이는 건의 활주 범위를 촉진하고 수술 후 또는 만성 염증 이후 발생할 수 있는 건 유착을 예방하는 데 도움이 된다. 이러한 동작은 게임 내 연속 입력 메커니즘으로 활용될 수 있으며, 정밀한 동작의 순차성과 순서 정확도를 훈련하는 데 효과적이다
5	엄지와 검지 집기 (OK 사인)	엄지와 손가락 끝을 맞닿게 함	정교한 운동 및 감각 피드백 향상	집기 동작은 감각 입력과 운동 출력을 조화롭게 연결하여 신경-근육 제어 경로를 강화하고, 정밀한 조작 능력을 향상시키며 손의 감각 피질을 자극함
6	가상 공 쥐기	가상의 공을 쥐는 듯한 동작	수근 내재근의 근지구력 및 안정적 파지력 강화	이 동작은 실제의 악력공 훈련을 모사하며, 등척성 수축 하에서의 힘 유지 및 근지구력 강화를 목적으로 함. 노인 환자의 피로 저항력 향상에 효과적임
7	손목 돌리기	공중에서 손목을 원형으로 회전시키는 동작	손목 관절의 유연성과 건 활주 기능 향상	손목 회전은 손목의 건초를 자극하여 관절 가동 범위를 유지하고, 관절 활액 생성을 도와 조직 간의 윤활을 증진함. 특히 장시간 고정된 손목 회복에 효과적임

반면 OK 사인처럼 엄지와 검지의 정밀한 핀치 동작은 소근육과 신경-근육 협응력이 집중적으로 요구되는 고난이도 제스처로서, 손끝의 감각 피드백을 활성화하여 정교한 운동기능 회복에 효과적이다. 추가로, 가상 공 쥐기 제스처는 중등도의 압력과 지속적인 근력 유지가 요구되어 근지구력과 파지력 회복에 도움을 주며, 손목 돌리기 제스처는 연속적인 관절 운동을 통해 손목의 유연성 향상과 윤활 기능 증진을 목표로 한다[12]. 이처럼 게임 내의 각 제스처는 빠른 반복 운동, 자세 유지, 정밀한 조작 및 연속적 회전 운동 등 다양한 훈련 요소를 포함하여, 손과 손목 전반에 걸쳐 포괄적이고 체계적인 재활을 가능하게 한다(Figure 2).



Figure 2. Seven hand gestures

이러한 손 제스처의 생리적 특성과 운동 요구도는 게임 내 5단계 난이도 체계(Level 1~5)에 따라 유기적으로 조절된다. 각 난이도 단계에서는 노트 이동 속도, 인식 판정의 정밀도, 손동작 인식 민감도뿐만 아니라, 난이도별 제스처 출현 비율 또한 전략적으로 조정된다. 예를 들어, Level 1에서는 저난이도 제스처의 비율이 약 60~70%를 차지하고 중·고난이도 제스처는 제한적으로 등장하지만, 난이도가 상승함에 따라 고난이도 제스처의 비중이 점진적으로 증가하며 사용자의 기술 수준에 맞는 도전 과제를 제시하게 된다. 중요한 점은, 어떤 난이도에서도 다양한 난이도의 제스처가 혼합된 비율로 포함되며, 특정 난이도에서 특정 동작이 완전히 배제되는 것이 아니라, 난이도에 따라 각 등급의 출현 빈도가 정량적으로 조정된다는 점이다. 이러한 비율 기반 설계는 사용자에게 적절한 도전감과 성취감을 제공함과 동시에, 기능적 피로를 방지하고 재활 훈련의 지속성과 몰입도를 높이는 데 기여한다(Table 2).

Table 2. Difficulty setting and rehabilitation basis of each gesture

번호	제스처 이름	재활 평가 지표 설계	난이도 근거	난이도
1	주먹 쥐기	동작 완료 시간: 2초, 유지 시간: 1초, 정확도: 95%, 반복 횟수: 15회	기본적인 굴곡근 활성화 및 단일 동작 수행으로 난이도 낮음	하
2	손가락 벌리기	동작 완료 시간: 1초, 유지 시간: 3초, 정확도: 95%, 반복 횟수: 12회	손가락 외전은 근육 분리 제어가 필요하며 일정한 정적 유지 시간이 요구됨	중
3	엄지 벌리기	동작 완료 시간: 1.5초, 유지 시간: 1.5초, 정확도: 90%, 반복 횟수: 10회	엄지의 독립적 외전 조절로 인해 비교적 높은 협응력 요구	중
4	손가락 굽혀 손바닥 터치 (엄지척-좋아요)	동작 완료 시간: 1초, 유지 시간: 1초, 정확도: 92%, 반복 횟수: 10회	손가락의 움직임 및 정확한 손바닥 접촉이 요구	중
5	엄지와 검지 집기 (OK 사인)	동작 완료 시간: 0.8초, 유지 시간: 1초, 정확도: 95%, 반복 횟수: 15회	정밀한 협응과 감각 피드백 조절이 필요, 소근육 조절 능력 요구	상
6	가상 공 쥐기	동작 완료 시간: 1초, 강유지 시간: 2초, 정확도: 90%, 반복 횟수: 12회	연속적 압박 동작과 중·고강도 근력 유지 능력이 요구됨	상
7	손목 돌리기	동작 완료 시간: 3초/회전, 강유지 시간: 연속, 정확도: 90%, 반복 횟수: 10회	자유로운 손목 회전 동작, 관절 부하 적고 반복성 높음	하

3.3. 실험 절차

본 연구의 실험은 2주간의 재활 훈련 프로그램으로 진행되었다. 첫 방문 시(훈련 전) 각 참여자의 손가락 관절 가동범위(ROM)와 악력을 측정하고, 간단한 설문지를 통해 손 건강 상태 및 훈련에 대한 기대를 조사하였다. ROM 측정은 손가락용 각도계(Goniometer)를 사용하여 각 손가락의 최대 굴곡·신전 각도를 확인하였으며, 악력은 휴대용 악력계(Dynamometer)로 측정하여 킬로그램(Kg) 단위의 수치로 기록하였다(Figure 3). 이러한 초기 평가 결과를 바탕으로 개별 사용자의 운동 능력에 적합한 게임 난이도 레벨을 설정하였다. 측정 후에는 연구자가 참여자들에게 재활 게임 시스템 사용법을 소개하고, 게임에 포함된 손 제스처들의 올바른 수행 방법을 튜토리얼 형태로 교육하였다.



Figure 3. User testing of grip strength and joint flexion

이후 2주 동안 각 참가자가 가정에서 인터랙티브 재활 게임을 활용한 훈련을 수행하도록 하였다(Figure 4). 훈련 스케줄은 주 5회, 1회당 약 15분간 게임을 플레이하는 것으로 2주간 총 10회 세션을 실시하도록 권장하였다. 참여자들은 일상 중 편리한 시간에 정해진 횟수만큼 훈련을 진행하였으며, 연구자는 전화 통화 등을 통해 정기적으로 참여자들을 독려하고 일정 준수를 확인하였다. 게임 시스템은 매 세션 종료 시 참가자의 훈련 수행 데이터를 자동으로 저장하고, 즉각적인 피드백을 제공하는 데이터 관찰판 화면을 표시하였다. 해당 화면에는 해당 세션 동안의 인식 정확도(제스처 인식 성공률), 평균 반응 시간, 진행한 라운드, 정확하게 수행한 제스처 개수, 부정확하게 수행한 제스처 개수, 움직임이 느렸던 횟수 등의 지표가 시각화되어 제시되었다. 참여자들은 이러한 데이터를 통해 자신의 수행 능력을 한눈에 파악하고, 어떤 동작에서 실수가 있었는지 등을 확인하여 이후 훈련에서 개선할 점을 인지할 수 있었다. 2주간의 모든 훈련 세션을 완료한 후, 동일한 방법으로 다시 ROM과 악력을 측정(훈련 후)하여 전후 변화를 평가하였다. 또한 훈련 후 설문지를 통해 게임 사용 만족도, 인터페이스 사용성, 몰입도, 주관적 손 기능 향상 정도 등을 5점 Likert 척도로 평가하였고, 심층 인터뷰를 통해 재미 요소, 불편 사항, 개선 요구 등 정성적 의견도 수집하였다.



Figure 4. Users using the game

3.4. 평가 지표 및 분석

ROM은 손가락 각도계를 사용하여 손가락의 최대 굴곡-신전 각도를 측정하였고, 악력은 악력계를 사용하여 한 손의 최대 악력(kg)을 기록하였다. 훈련 순응도는 각 참가자가 2주 동안 실제 수행한 총 세션 횟수를 확인한 뒤, 계획된 전체 세션(10회) 대비 실행 비율(%)로 산출하였다. 설문 문항은 손가락 유연성 개선 체감, 일상생활 개선도, 훈련 동기, 게임 피드백 만족도, 난이도 적절성, 훈련 후 피로도 등 다양한 측면을 포함하였다. 수집된 실험 데이터에 대해서는 대응표본 t-검정(Paired T-Test)을 실시하여 훈련 전후 평균 차이의 통계적 유의성을 검정하였다. 통계 분석에는 SPSS 26.0 소프트웨어를 사용하였으며, 유의수준 $\alpha=0.05$ (양측)로 설정하였다. 표본 수 50명에 대해 자유도는 49로 적용되었다. 설문 평가는 기술통계치(평균, 표준편차)를 산출하였고, 인터뷰 자료는 주요 키워드 도출 등 주제분석을 통해 정성적

으로 요약하였다.

3.5. 대응표본 t-검정(Paired Sample T-Test)

본 연구에서 사용한 대응표본 t-검정(Paired Sample T-Test)은 동일한 참여자를 대상으로 훈련 전과 훈련 후의 측정값 차이가 통계적으로 유의한지 검증하기 위한 방법이다. 우선 각 참여자별 차이값(훈련 후 값 - 훈련 전 값)을 계산한 뒤, 그 차이값들의 평균 $\bar{d}$ 와 표준편차 s_d 를 구한다. 검정통계량 t 는 다음 식으로 정의된다:

$$t = \frac{\bar{d}}{s_d / \sqrt{n}}$$

여기서 n 은 표본 크기(50명), 자유도(df)는 $n - 1 = 49$ 이다. 영가설 하에서는 훈련 전후의 평균 차이가 0이라고 가정하며, 이를 검증하기 위해 계산된 t 값과 해당 자유도에 대응하는 임계값을 비교하거나 p 값을 확인한다. p 값이 사전에 설정한 유의수준(예: 0.05, 양측 검정)보다 작으면, 영가설을 기각한다. 즉, 훈련 전후의 평균 차이가 우연에 의한 것이 아니라 통계적으로 유의미하다고 판단한다. 이는 훈련 전후의 평균 차이가 단순한 수치상의 차이인지, 실제로 통계적으로 유의미한지를 판단하기 위한 방법이며, 각 참여자의 변화량과 전체 변동성을 함께 고려하여 결과를 도출한다.

4. 결과

2주간의 게임 기반 재활 훈련 전후 비교 결과, ROM은 평균 13° 증가, 악력은 3kg 향상되었으며, $p < 0.001$ 수준에서 유의미한 차이를 보였다. 사용자 만족도와 몰입도 또한 평균 4점 이상을 기록하였으며, 게임의 피드백과 난이도 조절에 대한 긍정적 반응이 다수였다. Table 3은 주요 정량 지표(ROM, 악력)의 훈련 전후 평균과 표준편차 및 대응표본 t-검정 결과를 정리한 것이다(Table 3).

SPSS 출력 결과에서 t-통계량(t), 자유도($df = n - 1$), “ p -값(p)”을 확인하였으며, $p < 0.05$ 인 경우 통계적으로 유의미한 차이로 판정하였다.

이와 같은 분석 절차를 통해 훈련 전후 손 기능 지표의 평균 차이가 우연에 의한 변동이 아님을 검증하고, 본 재활 게임의 효과를 객관적으로 입증하였다.

Table 3. Paired t-test results for hand function changes before and after training

지표	훈련 전 (평균±SD)	훈련 후 (평균±SD)	t(49)	p
손가락 관절 가동범위 ($^\circ$)	64.6 ± 11.5	77.4 ± 11.7	27.882	< 0.01
악력 (kg)	16.7 ± 3.8	19.8 ± 3.4	19.175	< 0.01

훈련 전후 손 기능 지표인 손가락 관절 ROM과 악력 모두에서 뚜렷한 개선이 나타났다. ROM은 평균 약 13° 증가하였고, 악력은 약 3kg 향상되었다. 대부분의 참여자에게서 일관된 개선 경향이 확인되었으며, 이는 본 인터랙티브 게임이 손 기능 회복에 실질적인 도움을 줄 수 있음을 시사한다.

두 지표에 대해 실시한 대응표본 t-검정 결과, 모두 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났으며($p < .001$), 본 훈련 개입이 단순한 수치상의 변화가 아닌 실제 효과에 기반한 향상임을 뒷받침한다. 실험 참가자별 훈련 전후 손 기능 개선 효과를 분석한 결과, 손가락 관절 가동범위(ROM)와 악력(Grip Strength) 모두에서 전반적인 향상 추세가 관찰되었다. 전체 50명의 참가자를 대상으로 평균값 변화를 비교한 그래프에 따르면, 훈련 후 ROM과 악력 값이 훈련 전보다 증가하는 경향을 보였으며, 각 지표에는 95% 신뢰구간도 함께 제시되어 결과의 신뢰성을 높였다. 특히 대부분의 참가자에게서 유의한 개선

이 확인되었으며, 이는 본 인터랙티브 게임 기반 재활 훈련이 손 기능 회복과 악력 강화 모두에 긍정적인 영향을 미쳤음을 시사한다(Figure 5).

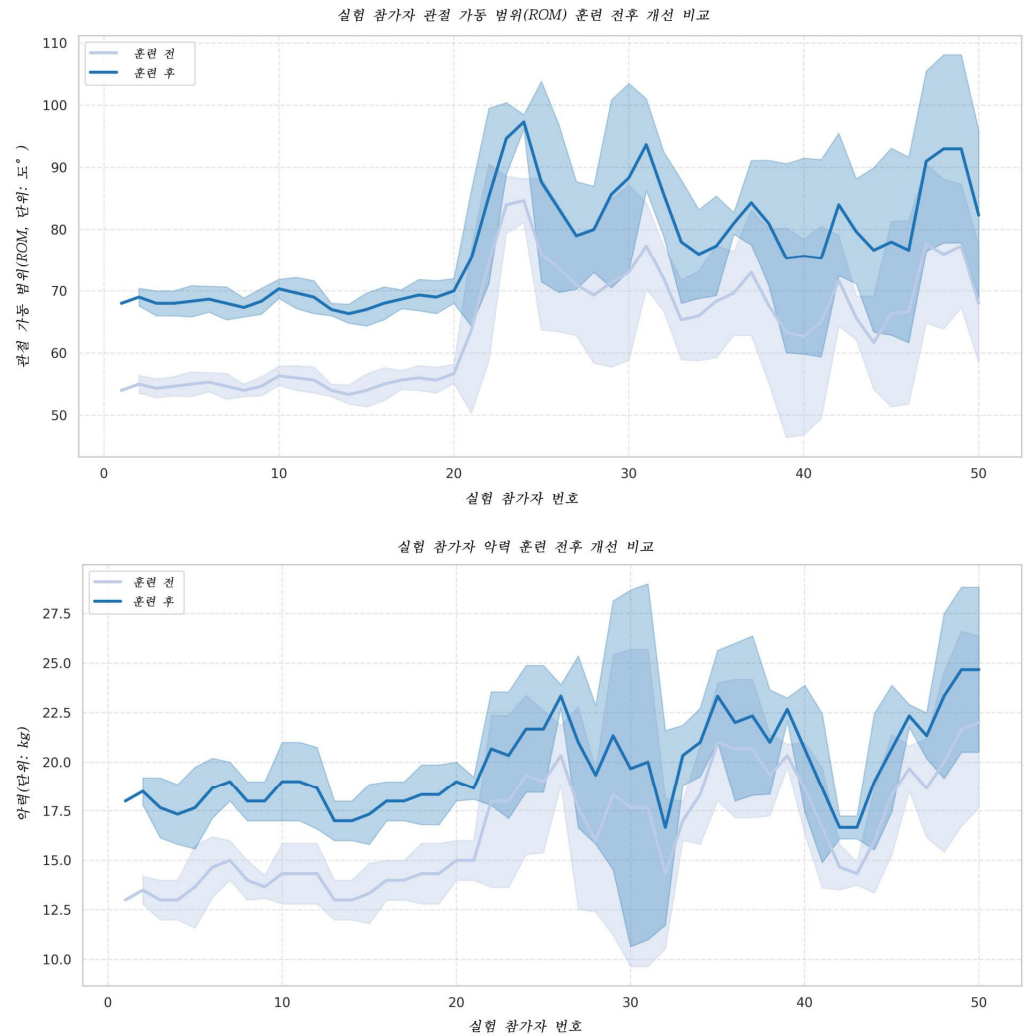


Figure 5. Pre-post comparison of rom and grip strength.

주관적 평가 결과 또한 전반적으로 긍정적이었다. 훈련 후 설문조사에서 참여자들은 손 기능 향상에 대한 체감을 높게 보고하였다. 예를 들어 “손가락 유연성 개선을 느낀다” 항목의 평균이 4.3점(5점 만점)으로 나타났고, “일상생활 수행능력 개선” 항목도 4.1점으로 비교적 높게 평가되었다. 게임의 동기 부여 효과와 관련하여 “훈련 참여 동기 향상” 항목은 4.6점으로 가장 높게 나타나, 게임이 재활 훈련 의지 향상에 크게 기여했음을 시사한다. 이 밖에 “게임 피드백의 명확성”은 4.5점, “훈련 난이도 적절성”은 4.2점으로 인터페이스와 난이도 디자인에 대해서도 만족도가 높았다. 한편 “훈련 후 피로도”는 3.9점으로 나타나, 참가자들이 어느 정도의 육체적 피로를 느꼈음을 보여주나 전반적으로 보통 수준에 머물렀다(Figure 6).

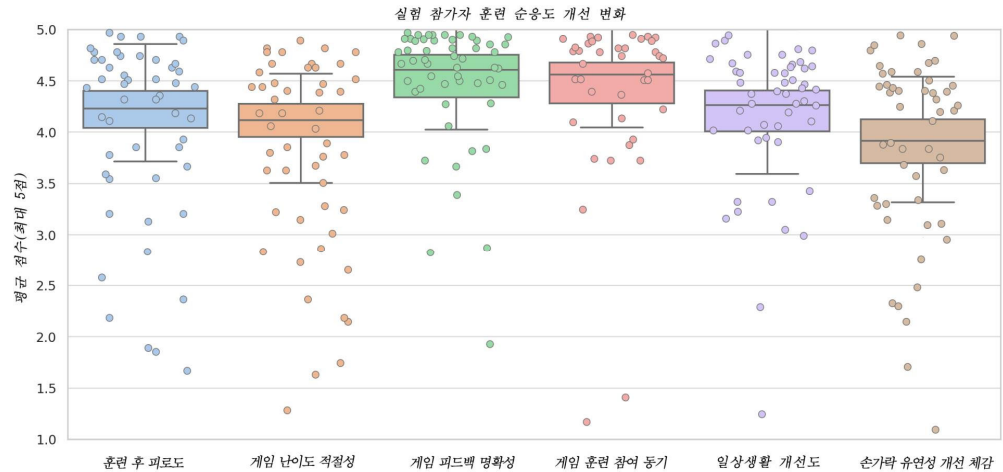


Figure 6. Subjective evaluation results.

인터뷰에서 수집된 정성적 의견을 살펴보면, 다수의 고령 참여자들이 “게임이 재미있어서 재활 운동을 꾸준히 하게 되었다”는 긍정적인 반응을 보였다. 몇몇은 “손을 뻗거나 쥐는 동작이 전보다 쉬워졌다”며 훈련 후 일상생활에서 손 기능 향상을 체감했다고 언급하였다. 또한 “화면상의 실시간 피드백 덕분에 동작 교정에 도움이 되었다”, “점수가 나오니 더 잘해보고 싶어졌다” 등 게임의 즉각적 피드백과 보상 체계가 동기부여에 도움이 되었다는 의견도 있었다. 반면 일부는 초기 기기 설정이나 사용 방법에 다소 어려움을 겪었으나 “인터페이스가 직관적이어서 금방 익숙해졌다”고 밝혀 전반적으로 UI 디자인에 만족감을 나타냈다. 종합하면, 참가자들은 이러한 게임 기반 재활 훈련 방식에 대해 높은 만족도를 보였으며 다수가 향후에도 계속 사용하고 싶다는 의사를 표명하였다.

5. 논의 및 결론

본 연구를 통해 실시간 손동작 인식 기반 인터랙티브 게임 훈련이 고령자의 손 기능 개선에 긍정적인 효과를 가져올 수 있음을 확인하였다. 훈련 후 손가락 관절 가동범위(ROM)가 약 13° 증가한 것은 관절의 유연성 향상으로 이어져, 고령자가 일상생활에서 손을 뻗거나 물체를 쥐는 동작을 보다 원활하게 수행할 수 있게 되었음을 시사한다. 악력도 약 3 kg 증가하여 잼 병 뚜껑 열기나 물건 들기와 같은 일상 동작에 필요한 손힘이 강화되는 유의미한 변화를 보여주었다. 이러한 객관적 기능 향상은 앞서 언급한 통계 분석을 통해 그 유의성이 검증되었는데, 이는 본 게임 기반 훈련이 단기간에도 불구하고 손의 운동 능력을 효과적으로 증진시켰음을 의미한다.

특히 본 연구에서 확인된 손 관절 가동범위의 증대와 근력 강화는 퇴행성 손 관절염 환자의 재활 측면에서 매우 고무적인 결과이다. 퇴행성 관절염(골관절염)은 노년층에서 흔히 발생하는 만성 질환으로, 관절의 지속적인 사용과 운동이 증상 관리에 필수적인 것으로 알려져 있다. 규칙적인 관절 운동은 관절 주변 연조직의 유연성을 유지하고 관절액(활액)의 분비를 촉진하여 관절의 “경직(Stiffness)”을 완화하는 데 도움이 된다. 본 연구의 게임 훈련을 통해 매일 반복된 손가락 굴곡-신전 운동은 손 관절 내 윤활을 증가시키고 구축을 예방하여 ROM 향상으로 이어졌다고 볼 수 있다. 더불어 주먹 쥐기, 물체 쥐는 힘 기르기 등의 동작을 통해 손의 악력 및 근지구력이 향상되면, 관절을 지지하는 주변 근육들이 강화되어 손 관절에 가해지는 부하를 줄여준다. 이는 관절염으로 인한 통증 경감과 기능 향상에 기여하며, 나아가 관절의 퇴행 속도를 늦추는 효과도 기대할 수 있다. 실제로 근력의 유의미한 증가는 환자들이 일상에서 느끼는 손의 안정성 향상과 직결되며, 물건을 쥐거나 들 때 느껴지는 불편 감소로 삶의 질 개선에도 영향을 준다.

한편, 류마티스 관절염과 같이 염증성 손 관절 질환을 가진 노인에게도 손 운동은 관절 강직을 방지하고 변형을 완화하는 치료 전략으로 권장된다. 본 게임에서 수행된 손목 회전 운동이나 손가락 벌리기 동작 등은 류마티스 관절염 환자들의 손목 및 손가락 변형을 방지하고 관절 가동범위를 유지하는 데 도움이 되는 운동들이다. 더불어, 게임을 통한 반복적이고 규칙적인 운동 수행은 관절염 관리에 핵심적인 지속성을 확보하는 데 큰 장점을 보였다. 대다수 참여자가 높은 순응도로 2주간의 프로그램을 완료하였는데, 이러한 꾸준한 참여는 전통적인 재활에서 흔히 문제가 되는 낮은 참여율과 중도포기를 극복하게 해준다. 게임의 보상 체계와 재미 요소는 환자들에게 내재적 동기부여를 제공함으로써, 치료 운동을 적극적으로 수행하도록 만든 것이다. 이처럼 “게임화(Gamification)”된 재활 접근법은 노인 환자들의 운동 지속성을 높여줌으로써 결과적으로 충분한 운동량 확보와 기능적 개선으로 이어지는 선순환을 구현하였다.

종합하면, 본 연구에서 개발한 실시간 손동작 인식 기반 재활 게임은 고령자의 손가락 및 손 기능 회복을 돕는 효과적인 도구로서 작용하였다. 짧은 기간의 실험임에도 불구하고 객관적으로 관찰된 유의한 ROM 및 악력 향상, 그리고 높은 사용자 참여도와 만족도는 디지털 인터랙티브 재활의 가능성을 잘 보여준다. 첨단 손동작 인식 기술과 게임 기반 디자인 접근을 융합함으로써, 전통 재활 훈련의 단조로움을 극복하고 환자들의 흥미와 몰입을 유발하는 치료 환경을 조성할 수 있었다. 이러한 몰입형 재활 환경에서 즉각적인 피드백과 점진적 난이도 조절은 사용자가 자신의 능력에 맞춰 성공 경험을 쌓게 함으로써 자신감 향상과 능동적 참여를 이끌어냈다. 그 결과 높은 훈련 이행률을 달성하였고, 이는 충분한 운동 자극으로 이어져 손 기능 개선에 큰 기여를 했다고 판단된다.

본 연구의 의의는 첨단 손동작 인식 기술과 게임 디자인을 활용하여 고령자 손 재활 훈련의 효과와 참여도를 동시에 향상시킬 수 있음을 실증적으로 보여준 데 있다. 이는 향후 노인 재활 분야에서 게임형 치료 콘텐츠를 개발하고 적용하는 데에 중요한 참고 사례가 될 수 있으며, 집에서도 지속 가능한 자기 주도형 재활 훈련 모델을 제시한다는 점에서 가치가 있다. 다만 본 연구는 단기간 실시되었다는 한계가 있으므로, 향후 더 많은 대상자들을 장기적으로 관찰하여 게임 기반 재활의 장기 효과와 임상적 유용성을 검증할 필요가 있다. 또한 개별 환자의 손 상태에 따른 맞춤형 콘텐츠 조정, 다양한 난이도 세분화, 그리고 모션 인식 정확도의 추가 향상을 통해 시스템을 고도화함으로써 보다 폭넓은 손 기능 장애군에 적용할 수 있을 것으로 기대한다.

향후 연구에서는 본 게임형 훈련 시스템의 효과가 단기적인 개선에 그치지 않고, 장기적으로도 지속되는지를 확인하기 위한 추적 관찰이 필요하다. 또한, 보다 다양한 손 기능 저하 유형이나 연령대, 생활환경을 가진 대상자들을 포함하여 실효성을 다각도로 검증할 필요가 있다. 마지막으로, 본 시스템을 실제 물리치료 현장에 적용하여 전문가의 피드백과 임상적 데이터를 기반으로 한 활용 가능성을 검토하고, 치료 도구로서의 실질적 기여 방안을 모색하는 것이 바람직할 것이다. 이러한 후속 연구를 통해 본 연구가 제안한 인터랙티브 게임 기반 접근법이 고령자의 손 기능 재활 분야에서 더욱 확장성 있고 지속 가능한 솔루션으로 자리매김할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌 (REFERENCES)

- [1] Falsarella GR, Coimbra B, Barcelos CC, et al. 2013. Prevalence and factors associated with rheumatic diseases and chronic joint symptoms in the elderly. *Geriatrics & Gerontology International* 13(4):1043-1050. <https://doi.org/10.1111/ggi.12052>
- [2] Gu S, Ye Z, Zhang L, et al. 2024. Research on a novel hand exoskeleton rehabilitation training system. 2024 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), Tianjin, China, 496-501. <https://doi.org/10.1109/ICMA61710.2024.10632949>
- [3] Pirbabaie E, Amiri Z, Sekhvat YA, et al. 2023. Exergames for hand rehabilitation in elders using Leap Motion Controller: A feasibility pilot study. *International Journal of Human-Computer Studies* 178:103099. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2023.103099>
- [4] Bonnechère B. 2018. Serious games in rehabilitation. In: *Serious Games in Physical Rehabilitation*. Springer, UK. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66122-3_4.
- [5] Prajwal P, Chandrasekar KK, Battula P, et al. 2024. The efficacy of virtual reality-based rehabilitation in improving motor function in patients with stroke: A systematic review and meta-analysis. *Annals of Medicine and Surgery* 86:5425-5438. <https://doi.org/10.1097/ms9.0000000000002403>
- [6] Nagesh, Kanojiya R. 2024. Recreational games as a catalyst for better aging: A six-week intervention on quality of life and health in older adults. *ShodhKosh: Journal of Visual and Performing Arts* 5(2):649-655. <https://dx.doi.org/10.29121/shodhkosh.v5.i2.2024.2927>
- [7] Puyjarinet F, Bégel V, Geny C, et al. 2022. At-home training with a rhythmic video game for improving orofacial, manual, and gait abilities in Parkinson's disease: A pilot study. *Frontiers in Neuroscience* 16:874032. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.874032>
- [8] Park JS, Lee G, Choi JB, et al. 2019. Game-based hand resistance exercise versus traditional manual hand exercises for improving hand strength, motor function, and compliance in stroke patients: A multi-center randomized controlled study. *NeuroRehabilitation* 45(2):221-227. <https://doi.org/10.3233/nre-192829>
- [9] Cejnog LWX, Cesar RM Jr, de Campos TE, et al. 2019. Hand range of motion evaluation for Rheumatoid Arthritis patients. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1903.06949>
- [10] Claypoole VL, Schroeder BL, Mishler AD, et al. 2016. Keeping in touch: Tactile interface design for older users. *Ergonomics in Design* 24(1):18-24. <https://doi.org/10.1177/1064804615611271>
- [11] Ring D, Kay J. 2015. Hand rheumatoid arthritis. In Frontera WR, Silver JK, Rizzo TD, editors, *Essentials of physical medicine and rehabilitation*, 3rd Edition, pp. 165-168. Elsevier, Netherlands.
- [12] Lamb SE, Williamson EM, Heine PJ, et al. 2015. Exercises to improve function of the rheumatoid hand (SARAH): A randomised controlled trial. *The Lancet* 385(9966):421-429. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(14\)60998-3](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(14)60998-3)

원저

노인 손 기능 재활을 위한 실시간 손동작 인식 기반 인터랙티브 게임 디자인 연구

장일박, 조성배

청주대학교 산업디자인학과

교신저자: 조성배 (josb@cju.ac.kr)

요약

전 세계적인 고령화가 심화됨에 따라 노인의 손 관절 질환 발병률이 증가하고 있으며, 특히 손가락 관절의 유연성 저하는 일상생활 수행에 제약을 초래하고 삶의 질 저하로 이어지고 있다. 전통적인 물리 재활 훈련은 효과가 입증되어 있음에도 불구하고, 반복적이고 단조로운 특성으로 인해 고령자의 지속적인 참여를 유도하기 어렵고, 이에 따라 재활 효과 또한 제한되는 한계를 가진다. 본 연구는 이러한 문제를 해결하고자 실시간 손동작 인식 기술을 기반으로 한 인터랙티브 게임형 재활 시스템을 개발하였다. Unity 플랫폼과 Mediapipe 기술을 활용하여 사용자의 손 제스처를 실시간으로 인식하고, 시각 및 청각 피드백을 제공하는 게임을 설계하였다. 게임화 요소(리듬 기반 미션, 점수화, 난이도 조절 등)를 재활 훈련에 통합함으로써 사용자 참여도와 동기 부여를 강화하고, 기존의 기계적 재활 방식 대비 높은 몰입도와 지속성을 유도하였다. 또한, 본 시스템의 수용성과 효과를 검증하기 위해 손 기능 저하를 겪는 만 65세 이상 고령자 50명을 대상으로 2주간의 사용성 평가와 실험을 진행하였다. 사전·사후 관절 가동범위(ROM) 및 악력 측정을 통해 정량적 효과를 분석하였으며, 인터페이스 만족도 및 훈련 몰입도에 대한 정성적 평가도 병행하였다. 그 결과, 평균 13°의 ROM 향상과 3kg의 악력 증가가 나타났으며, 사용자는 시스템의 직관성, 재미 요소, 동기 유발 효과에 대해 전반적으로 높은 만족도를 보였다. 이러한 결과는 실시간 손동작 인식 기반 인터랙티브 게임이 고령자의 손 기능 회복을 위한 효과적이고 지속 가능한 재활 도구로서의 가능성을 지님을 시사한다.

주제어

손동작 인식, 노인 물리 재활, 인터랙티브 게임, 미디어파이프

AUTHORS INFORMATION

조성배(Sungbae Jo)

2012년 03월 – 현재

청주대학교 산업디자인학과 교수

관심분야: 산업디자인, 지식재산, UX디자인

장일박(Yibo Zhang)

2023년 09월 – 현재

청주대학교 산업디자인학과 석사과정

2019년 09월 – 2023년 06월

산시대학교 환경디자인학과 예술학사

관심분야: 고령층을 위한 인터랙티브 디자인