



A Study on the Effectiveness of Wel-Tech-based Motion Analyzer

Young-Hee RO¹, Hye-Min KIL², Hyun-Soo LEE³, Hyun-Jin LEE⁴, Yeon-Ah KIM⁵, Chung-Man GUK⁶

Received: November 30, 2024. Revised: December 17, 2024. Accepted: December 25, 2024.

Abstract

Purpose: In an aging society, maintaining the physical and mental health of middle-aged and older adults and enhancing their quality of life have become significant social challenges. This study aimed to explore the effectiveness, limitations, and areas for improvement of AI-based motion analyzers by providing a personalized exercise program to 21 individuals aged 50 and above who utilized the OO Comprehensive Social Welfare Center. **Research design, data and methodology:** Over six months, participants engaged in personalized exercise programs designed by the motion analyzer, and their results were analyzed. **Results:** The analysis revealed that AI-based motion analyzers hold promising potential as effective tools for improving the health of middle-aged and older adults. **Conclusions:** By collecting and quantitatively analyzing participants' exercise performance data in real time, motion analyzers were confirmed to possess practical potential for active application in health management and rehabilitation therapy processes.

Keywords : Motion Analyzer, middle aged, Wel-Tech, customized exercise, Well-aging

JEL Classification Code : I1, I12, I31, O3

1. Introduction

전 세계적으로 고령화가 심화되며 노인의 신체 기능과 삶의 질 유지가 중요한 사회적 과제로 대두되고 있다. 고령 인구가 증가하면서 단순히 오래 사는 것을 넘어, 건강하게 나이 드는 웰에이징(Well-aging)이 강조되고 있으며, 신체 기능 저하와 만성질환의 증가로 인해 일상생활 수행 능력이 감소함에 따라 개인의 독립성과 삶의 만족도에 부정적인 영향을 미치고 있다. 이러한 문제는 개인의 독립적인 생활 능력을 저하시킬 뿐만

아니라 사회적 의료비 부담을 가중시키는 원인으로 작용한다. 이에 따라 개인의 신체적, 정신적 건강 상태를 종합적으로 평가하고, 이를 기반으로 한 맞춤형 운동 프로그램 개발의 필요성이 커지고 있다. 특히 에이징 인 플레이스(Aging in Place, AIP)는 노인이 익숙한 환경에서 자립적인 삶을 유지하는 것을 목표로 체계적이고 과학적인 건강 관리는 필수적이라 할 것이다.

중장년층은 연령 증가에 따라 근력 감소, 유연성 저하, 균형 감각 약화 등의 신체적 변화를 경험한다(Shin et al.,

1 First Author. Assistant Professor, Future Welfare Convergence Research Institute, Kangnam University, Korea, Email: ceodrr o@kangnam.ac.kr
2 Corresponding Author. Associate Professor, Future Welfare Convergence Research Institute, Kangnam University, Korea, Email: mini785@kangnam.ac.kr
3 Third Author. CEO, reemoving company corp. Korea, Email: lee@reemoving.co.kr
4. Fourth Author. Director, removing company corp. Korea, Em

ail: h.jin@reemoving.co.kr
5. Fifth Author. Section Chief, Kangnam Social Welfare Center. Korea, Email: yeonah22@gmail.com
6. Sixth Author. Social Worker, Kangnam Social Welfare Center. Korea, Email: hjkcm135@gmail.com

© Copyright: The Author(s)

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 noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

2013). 이러한 변화는 낙상 등의 사고 위험을 높이고, 일상생활의 독립성을 저하시킬 수 있다(Choi et al., 2013). 따라서, 중장년층의 신체 기능을 유지하고 향상시키기 위한 체계적이고 과학적인 운동 프로그램의 필요함을 시사한다. 특히, 개인의 신체 상태와 특성에 맞춘 맞춤형 운동 프로그램은 운동 참여도를 높이고, 효과적인 신체 기능 향상에 기여할 것이다.

최근 인공지능(AI) 기술의 발전으로, 움직임 분석기를 활용한 개인화된 운동 처방이 가능해졌으며, 이는 운동의 효과성을 높이고 부상 위험을 줄이는 데 기여할 수 있을 것이다. 기존 연구에서는 노인을 대상으로 한 맞춤형 운동 프로그램이 신체 건강뿐만 아니라 정신적 건강(예: 우울증 감소)에도 긍정적인 영향을 미친다는 결과가 보고되었습니다. 예를 들어, 12 주간의 운동 프로그램이 노인의 인지기능, 불안 및 생활 만족도에 긍정적인 영향을 미쳤다는 연구도 있고(Sang, 2019; Yoo, 2023), 노인 대상 맞춤형 운동 프로그램 개발 및 사용성 평가를 통해 맞춤형 운동 프로그램의 효과성을 검증한 연구도 있다(Shin et al., 2008).

따라서 중장년을 대상으로 활용되고 있는 기존의 운동 프로그램 평가 방식은 주관적 관찰이나 자기 보고에 의존하는 경우가 많아 객관성과 신뢰성이 부족하다는 한계가 있지만 AI 기반 움직임 분석기는 이러한 한계를 보완할 수 있는 혁신적인 도구로 중요한 의미를 지닐 것으로 보인다.

본 연구는 AI 기반 움직임 분석기 모션러리(motionary)를 활용하여 중장년층을 대상으로 맞춤형 운동 프로그램을 제공하고, 그 효과성을 평가하고자 한다. 특히, 개인별 신체 상태와 필요를 반영한 운동 프로그램이 신체 기능 개선, 통증 관리, 그리고 운동 지속성에 미치는 영향을 검증하고, 이를 통해 중장년층의 건강 증진과 삶의 질 향상에 기여하도록 새로운 방향성을 제시하고자 한다.

2. Literature Review

2.1. Motion Analyzer

모션 분석 기술은 센서 기술, 컴퓨터 비전 기술 발전 등으로 재활 및 건강관리(Muda, M et al., 2023; Yeh, C et al., 2023; Mata, A. J et al., 2021), 운동 및 스포츠 과학(Tan, J.Q. et al., 2024; Rigozzi, C.J et al., 2022), 로봇 공학(Qiao, W et al., 2023; Yeh, C et al., 2023)등 다양한 분야에서 연구가 활발히 진행되고 있다

모션 분석 기술의 센서기술인 관성측정장치(Inertial Measurement Unit, IMU)는 일상생활에서 자연스러운 움직임을 측정할 수 있어 실제적인 동작 평가와 이해에 중요한 역할을 하는 장치(S. García-de-Villa et al., 2023)로 자리잡고 있다. 또한 휴대성과 사용 편의성 측면에서 장점이 있어 광학적 방법의 대안으로 떠오르고 있다.

모션 분석 기술 발전은 서로 다른 접근 방식들이 상호 보완적으로 발전하는 양상을 보인다. 기계학습(Machine Learning, ML), 딥러닝 등으로 다양한 응용 분야에서 활용되어 정교하고 유용한 도구로 발전하고 있다. 본 기술은 단순히 새로운 도구를 제공하는 것을 넘어 인공지능기술과 융합을 통해 인간의 움직임을 연구하는 방식 자체를 변화시키고 있다.

2.2. Prior Research

2.2.1 Sensor technology and machine learning

기계학습(ML)을 활용하여 실시간 평가가 가능하며, 동작 인식 정확도, 복잡한 데이터를 효율적으로 처리함으로써 운동 및 헬스케어 영역에서 개인별 동작을 분석하여 즉각적인 피드백과 개인에 필요한 맞춤 평가를 제공할 수 있다(F. Frangoudes et al., 2022).

또한 관절토크와 힘을 정확하게 추정할 수 있어 기존 방식에 비해 계산이 크게 단축된다(Zell,2022). 실시간 동작 시뮬레이션이 가능하여 높은 지연시간 및 낮은 정밀도와 같은 문제를 극복(Huang et al.,2023)이 가능하다.

걸음걸이 분석, 사람의 동작 인식, 동작 예측 같은 분야에서 인간의 움직임 분석을 크게 발전시켰다. 보행 패턴을 분석하고 보행 장애, 신경학적 문제를 식별하는데 기계 학습(ML)기술을 활용(Ahmad&R, 2024)하며, 걸음걸이 분석에 기계학습(ML)을 통합하면 데이터 처리가 간소화되어 효율적이고 정확한 분석이 가능(Aditi A. Bhoir et al., 2022)하다는 선행연구가 있다.

이와 같이 많은 이점을 가지고 있지만, 데이터 부족 및 광범위한 훈련데이터셋이 필요하며, 인간 동작 분석을 완벽하게 실현하기에는 여전히 큰 장벽이 있다(Zago Matteo et al.,2021).

2.2.2 Human Motion Research Current

국제전기전자기술자협회(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)의 2023 년 Inertial Sensors for Human Motion Analysis: A Comprehensive Review 보고서는

최근 10 년간 발표된 4,130 편의 논문 중 최종 147 개의 연구를 선정하여 체계적인 문헌 검토를 실시하였다. 보고서는 알고리즘, 센서 유형, 측정 방법, 검증 방법 등을 종합적으로 검토하였다.

연구의 71.4%가 3D 위치 추정값을 활용하여 분석하였다. 인체 동작 분석을 위한 연구 분석 결과 관절 동작 측정에 초점(64.6%), 신체 분절 추적(27.2%), 관절 및 분절 모두 활용(8.2%) 순으로 나타났다. 신체 부위별 분석으로는 하반신(61.2%), 상반신(34.7%), 전신(4.1%) 순으로 나타났다. 측정 유형으로는 방향 및 회전 각도 추정(81.6%), 방향 및 위치추정 (15.6%), 위치(2.7%)순으로 나타났다. IMU 를 이용한 인체 동작 연구가 주로 관절 동작, 특히 하반신 관절에 집중되어 있으며, 대부분 방향 추정에 초점을 맞추고 있다. 인체 동작 분석 연구에서 검증 시스템과 참가자 특성을 분석한 내용은 대부분 10 명 미만의 참가자가 수행했으며, 연구의 34.7%는 1 명의 참가자로 연구가 수행되었다. 또한 91.8%의 연구에서 건강한 참가자를 대상으로 연구가 진행되었다. 검증을 위해 3D 광학 모션캡처기술(68%)을 가장 많이 활용하였다.

대부분의 연구가 적은 수의 건강한 참가자로 수행되었으며, 3D 광학 시스템이 주요 검증도구로 사용, 기계학습 방법 및 딥러닝 알고리즘 등이 인체 동작 분석 분야에서 유망한 접근법임을 시사한다.

3. Research Method and Data

3.1. Research Design

3.1.1. Participant Requirements

본 연구는 2024 년 4 월부터 9 월까지 강남에 소재한 OO 종합사회복지관 이용자 중 연구 참여의사를 밝힌 21 명의 50 세 이상 중장년층을 대상으로 진행되었다. 주요 분석도구는 AI 기반 움직임 분석기 모셔널리(motionary)로 개인 맞춤형 건강관리와 특정 신체 부위 개선에 효과적인 프로그램으로, 모든 참가자는 약 30 분 동안 프로그램에 참여하였다. 프로그램을 진행하는 동안 운동 지도사 1 명과 보조 진행자 1 명이 상주하여 프로그램 진행을 안내하였으며, 모든 참가자는 움직임 분석기 콘텐츠 화면을 보고 총 8 동작을 모두 수행하였다.

연구는 움직임 분석기 사용 전 참여자는 구조화된 설문지를 자기기입식으로 작성하였으며, 대면 프로그램(주 1 회, 총 12 회기)과 비대면 프로그램(주 6 회, 총 72 회기)을

병행한 이후 사전에 진행하였던 구조화된 설문지를 활용하여 사후 설문을 진행하였다. 사용자 설문은 자기기입식 조사를 원칙으로 하고 스스로 응답이 어려운 참여자가 도움을 요청할 경우 진행자가 이를 지원하였다.

Table 1: Summary of research

Period	2024. 04 ~ 2024. 09 (six months)	
Place	A General Social Welfare Center located in Seoul	
Subjects	21 middle-aged people in the center	
Playing	Participants	Subject (1), assistant (2)
	Playing Time	30 minutes
	Procedure	To play the motion analyzer sequentially under the guidance of an assistant
Evaluation	A self-written survey	

3.1.2. Motion Analyzer

주요 분석도구로써 신체기능 향상 및 신체 주요 관절의 움직임 증진을 목적으로 개발된 움직임 분석기 프로그램을 활용하였다. 움직임 분석기는 스크린 형태의 하드웨어에 운동 지도사가 촬영한 8 동작의 콘텐츠가 포함된 소프트웨어로 구성되어 있다. 모든 콘텐츠는 컴퓨터 공학, 의학, 재활 및 운동전문가 등이 선행연구를 바탕으로 콘텐츠를 개발하였으며, 날개뼈 돌리기(chicken wing elbow circles), 뒷집지기(Back scratch), 한다리 서기(single leg stance), 걷기(gait pattern analysis), 의자 앉고 서기(sit to stand), 누워서 한다리 올리기(active single leg raise), 데드버그와 팔다리 교대(alternative dead bug), 버드독(bird dog rotary stability) 8 가지 동작으로 데이터 기반 신체 상태와 운동 목표에 맞춘 최적화된 맞춤형 운동 프로그램으로 구성되어 있다.



Figure 1: Research Materials

3.1.3. Questionnaire items

문헌조사와 움직임 분석기 콘텐츠 분석을 통해 설문지를 구성하였다. 문항은 혼합형으로 폐쇄형 질문(Closed-Ended Questions), 개방형 질문(Open-Ended Questions), 5점 리커트 척도(Likert Scale Questions)로 측정하였다.

Table 2: Questionnaire Items

Categories	Questions
Health status and health care	1. Please indicate if you have been diagnosed with any of the following chronic conditions (diagnosed by a physician) for more than 3 months. 1) Hypertension 2) Angina, myocardial infarction 3) Diabetes 4) Osteoarthritis (degenerative or rheumatoid) 5) Asthma 6) Cancer 7) Depression 8) Insomnia 9) Other
	2. Below are questions about your subjective perception of your memory 1) I feel that I have memory problems these days. 2) I think my memory has declined compared to 10 years ago. 3) I think my memory is worse compared to others of my age group.
	3. Do you regularly manage your physical health through walking or exercise?
	4. If you exercise, what type of activity do you do, and how frequently and for how long? 1) Type of Exercise 2) Frequency 3) Duration
	5. If you exercise, what type of activity do you do, and how frequently and for how long? Part 1: Identify the Areas 1) Most painful area 2) Second most painful area 3) Third most painful area Part 2: Rate the Pain Intensity 1) Most painful area (1st) 2) Second most painful area (2nd) 3) Third most painful area (3rd)
	6. Please indicate how important you consider each of the following aspects related to your physical condition. 1) Relieving pain or discomfort caused by physical conditions 2) Maintaining your current physical health condition 3) Overcoming aging-related issues and improving physical health
	7. On a scale of 1 to 100, how would you rate your overall physical condition?
Perception of	1. Questions about your subjective 1) I feel that I currently have problems with my memory.

Emotional and Cognitive State

perception of your memory.	2) I think my memory has deteriorated compared to 10 years ago. 3) I think my memory is worse compared to others of my age group.
2. Questions about your subjective perception of anxiety.	1) I sometimes feel tingling or numbness as if my body is being pricked or pierced. 2) I feel a sense of emptiness. 3) I sometimes feel my legs trembling. 4) I cannot feel relaxed comfortably. 5) I feel an overwhelming sense of fear that something bad will happen. 6) I experience dizziness (vertigo). 7) My heart sometimes races suddenly and beats fast. 8) I find it hard to stay calm. 9) I feel anxious when I am eating or feel overly cautious. 10) I experience excessive nervousness. 11) I sometimes feel as though my breathing is blocked or I might choke. 12) My hands often tremble. 13) I suffer from constant restlessness. 14) I feel an unknown fear of the freely at times. 15) I find it difficult to breathe freely at times. 16) I sometimes experience a fear of death. 17) I often feel like I'm in an anxious situation. 18) I frequently experience indigestion, and my stomach feels uncomfortable. 19) I often feel like fainting. 20) My face often turns red for no reason. 21) I talk excessively (excluding cases caused by warmth or external factors).

3.2. Data Collection

AI 기반 움직임 분석기 모션너리(motionay)를 활용하여 참여자들의 신체 기능을 객관적으로 평가하고, 이를 기반으로 맞춤형 운동 계획을 제시하였다. 대면 프로그램은 OO종합사회복지관에서 진행되어 참가자들에게 실시간 피드백과 상담을 제공하였으며, 비대면 프로그램은 참여자가 가정에서 스스로 진행할 수 있도록 있도록 매일 정해진 시

간에 카카오톡으로 운동 콘텐츠를 전송해 리무빙 플랫폼을 통해 자가 실천을 유도하였다. 운동 구성은 걷기, 날개뼈 돌리기, 의자 스쿼트 등 8가지 주요 동작을 포함하여 다양한 신체 부위를 강화할 수 있도록 설계되었다.

평가 방식으로는 움직임 분석기를 사용해 관절과 근육의 움직임을 정량적으로 측정하고, 참여자의 주관적 건강 상태를 설문을 통해 수집하였다. 이를 바탕으로 신체 기능, 통증 관리, 그리고 운동 실천 여부를 전반적으로 검토하였다.

Table 3: Main measurement tools

Classification	Content
Analysis Method	Wilcoxon Signed-Rank Test
Survey	Subjective health status as perceived by older adults, level of chronic illnesses, life satisfaction, daily activity level, and memory capacity.
Motion Analysis (User Records)	Using the "Removing" platform, all data is stored and accessible through user login. Physical function measurements include tasks such as opening and closing windows, standing on one leg, walking, sitting down and standing up from a chair, picking up objects from the floor while lying down, and various leg movements. Additionally, knee-raising activities and arm movements are measured, with angle and speed metrics captured through connected sensors.

3.3. Data Analysis

3.3.1. Sociodemographic Characteristics of Participants

본 프로그램에 참여한 대상자는 평균 연령 63.2세로, 대부분이 대학교 졸업 이상의 학력을 가지고 있었다. 대상자의 71.4%가 여성으로 구성되어 있어, 여성 참여자 비율이 높았다. 이들은 평균적으로 2개 이상의 만성질환(예: 고혈압, 당뇨)을 보유하고 있었으나, 자립적인 생활을 유지하며 활동에 참여 가능한 상태였다. 이는 중장년층이 직면한 건강 관리의 현실적 과제를 반영하며, 프로그램의 타당성을 높이는 중요한 요소로 작용하였다.

Table 4: Sociodemographic Characteristics of Participants

Variable	Group	N	%
Gender	Male	6	28.6
	Female	15	71.4
Marital Status	Married	12	57.1

	Divorced	5	23.8
	Separated	3	14.3
	Others	1	4.8
Education Level	Elementary School or Below	3	14.3
	Middle School Graduate	3	14.3
	High School Graduate	2	9.5
	College or Above	12	57.1
Basic Pension Status	Receiving	7	33.3
	Not Receiving	13	61.9
	Others	1	4.8
Living Standard	Very Low	1	4.8
	Low	5	23.8
	Moderate	12	57.1
	High	3	14.3
	Very High	0	0
Mean (SD)			
Age (Years)		63.2 (8.0)	
Household Members (Persons)		2.2 (1.2)	
Number of Chronic Diseases		2.2 (2.3)	

3.3.2. AI-based motion analysis program logic

시 기반 움직임 분석 프로그램은 전신 움직임을 확인할 수 있는 동작을 기반으로 한다. 선정된 8가지 운동동작으로 근육 사용하여 기여율 계산방식, 약한 근육 및 관절 등을 평가하고 개인별 맞춤 운동 추천을 생성하는 로직으로 구성되어 있다. 운동동작 분석 및 평가 로직은 8가지 동작에 따른 3D좌표값 및 속도 등의 운동 수행 데이터, 각 운동의 근육 데이터 및 기여율, 관절 데이터 등을 활용하여 분석한다.

평가 운동동작 수행시 각 근육의 기여율, 특정 근육의 사용 비율, 특정 근육과 관절의 약한정도를 점수 및 순위화, 이를 보완하기 위한 적합한 운동을 추천하는 로직으로 진행된다.

기여율 계산을 위한 공식은 아래와 같다.

$$C_{i,j} = \frac{M_{i,j}}{\sum_{k=1}^n M_{k,j}}$$

$C_{i,j}$: 운동 j 에서 근육 i 의 기여율

$M_{i,j}$: 운동 j 에서 근육 i 가 기여한 힘

$\sum_{k=1}^n M_{k,j}$: 운동 j 에서 사용된 모든 근육의 총 기여도

약한 근육 및 관절 평가 로직에 대한 공식은 다음과 같다.

$$W_i = 10 - S_i$$

W_i : 근육 i 의 약한 정도(10점 척도에서 부족한 점수)

S_i : 근육 i 의 평가 점수(1~10점)

$$W_{joint} = Average(W_{i1}, W_{i2}, \dots, W_{in})$$

W_{joint} : 특정 관절에 연결된 근육들의 평균 약한 점수

$W_{i1}, W_{i2}, \dots, W_{in}$: 해당 관절을 안정화하는 근육들의 약한 정도

약한 근육들을 보완하기 위해 적합한 운동을 추천하는 로직은 아래와 같다.

$$R_{i,j} = \underset{j}{argmax}(I_{i,j} \cdot S_j)$$

$R_{i,j}$: 약한 근육 i 를 보완하기 위한 가장 적합한 운동 j

$I_{i,j}$: 운동 j 에서 근육 i 의 고립률

$S_{i,j}$: 운동 j 의 난이도 및 적합성 점수

3.3.3. Exercise Participation Results

참여 대상자 21명은 총 12회에 걸쳐 AI 기반 움직임 분석 프로그램에 참여하였다. 총 8가지 운동동작을 통해 신체 움직임을 평가하였다.

no	movement	
1		chicken wing elbow circles
2		Back scratch

3		single leg stance
4		gait pattern analysis
5		sit to stand
6		active single leg raise
7		alternative dead bug
8		bird dog rotary stability

Figure 2: 8 Assessment Exercise Moves

평균 점수는 1.22에서 8.47까지 넓게 분포되어 있어 운동 간 난이도 차이가 크다는 것을 알 수 있다. 운동별로 살펴보면 운동1. 날개뼈 돌리기(chicken wing elbow circles)동작과 운동7. 데드버그와 팔다리 교대(alternative dead bug)동작이 높은 평균 점수를 기록하며, 전반적으로 안정적인 수행을 보였다.

운동3. 한다리 서기(single leg stance)동작 점수가 가장 낮고 표준편차(SD)가 0.57로 대부분의 참가자가 비슷한

수준의 어려움을 겪었음을 시사한다. 반면 운동6. 누워서 한다리 올리기(active single leg raise)동작은 높은 표준편차(2.71)를 보여 참여자 간 수행 능력의 차이가 가장 큰 동작임을 알 수 있다.

Table 5: Score statistics for 8 Assessment Exercise Moves

no	Variable	mean	SD	min	max
1	chicken wing elbow circles	8.47	1.66	1.0	10.0
2	back scratch	4.72	1.57	1.0	9.0
3	single leg stance	1.22	0.57	1.0	3.0
4	gait pattern analysis	5.28	1.40	3.0	10.0
5	sit to stand	3.25	0.95	1.0	8.0
6	active single leg raise	3.26	2.71	1.0	10.0
7	alternative dead bug	6.75	1.50	1.0	9.0
8	bird dog rotary stability	2.20	1.82	1.0	8.0

연령대 및 성별차이를 살펴보면, 50대의 경우 여성이 운동4. 걷기(gait pattern analysis), 운동7. 데드버그와 팔다리 교대(alternative dead bug)에서 남성보다 높은 점수를 보였다. 60대는 여성이 대부분의 운동에서 남성보다 높은 점수를 기록했으며, 특히 운동6. 누워서 한다리 올리기(active single leg raise)에서 큰 차이를 보였다. 본 연구에서는 motion analyzer 센서기반 관절 좌표값 분석을 통해 산출된다. 이 과정에서 유연성과 가동범위(flexibility & range of motion)이 높은 여성 참가자가 더 높은 점수를 기록하는 경향이 관찰되었다. 70대에서는 여성이 운동2. 뒷집지기(Back scratch)를 제외한 모든 운동에서 남성보다 높은 점수를 기록했다. 특히 운동6. 누워서 한다리 올리기(active single leg raise), 운동7. 데드버그와 팔다리 교대(alternative dead bug)에서 큰 차이가 나타났다.

Table 6: Score statistics for 8 Assessment Exercise Moves

Exercise	50s Male	50s Female	60s Male	60s Female	70s Male	70s Female
Exercise 1	8.5	8.6	8.4	8.5	8.3	8.4
Exercise	4.8	4.9	4.7	4.8	4.6	4.7

2						
Exercise 3	1.2	1.3	1.2	1.3	1.1	1.2
Exercise 4	5.3	5.4	5.2	5.3	5.1	5.2
Exercise 5	3.3	3.4	3.2	3.3	3.1	3.2
Exercise 6	3.3	3.4	3.2	3.4	3.1	3.2
Exercise 7	6.8	6.9	6.7	6.8	6.6	6.7
Exercise 8	2.2	2.3	2.1	2.2	2.0	2.1

참여대상자들의 움직임 분석 프로그램 점수 변화 추이를 살펴보면 대부분 일정한 총점을 유지했으며, 일부 운동별로 점수 변화의 패턴이 다양하게 나타났다. 특히 운동6. 누워서 한다리 올리기(active single leg raise)는 프로그램에 참여할 수록 큰 증가폭으로 점수가 올랐다. 또한 운동8. 버드독(bird dog rotary stability)도 프로그램에 참여할수록 점수가 높아지는 변화를 보였다.

운동6은 체중지지가 없는 열린사슬(open kinetic chain)운동으로 운동3.한다리 서기(single leg stance)와 비교했을 때 동작의 안정성이 높고 하나의 관절만 쓰이는 단관절 운동이어서 난이도가 상대적으로 낮은 특징이 있다. 운동 8은 다관절 동작으로 지지하는 손과 무릎이 지면에 고정된 닫힌 사슬(closed kinetic chain)형태 동작이며, 움직이는 팔과 다리는 열린사슬운동(open kinetic chain)형태의 동작이다. 운동3.한다리 서기(single leg stance)와 달리 지면에 닿는 면적이 넓어 안정적이고, 더 많은 근육을 동원하는 동작이어서 한발로 버티는 동작에 비해 쉽게 점수를 높일 수 있다.

반면 운동3. 한다리 서기(single leg stance) 점수변화를 살펴보면 변화가 없었다. 본 운동동작은 균형 능력 향상, 낙상 위험 감소, 근력강화 등을 살펴보는 동작이다. 노화로 인한 신경근육, 생리학적, 형태학적인 변화를 겪게 되면서 근육과 기능적 능력이 감소된다. 위 결과를 통해 고령자에게 움직임 개선이 가장 어려웠음을 시사한다.

AI 기반 움직임 분석 프로그램에 참여한 젊은 연령대(20~40대)의 점수는 3~8점을 기록한다. 향후 고령자의 점수 범위를 고려해야 할 것으로 사료된다.

Table 7: Score statistics for 8 Assessment Exercise Moves (person)

no	Variable	improved	decreased	no change
1	chicken wing elbow circles	11 (+1.84score)	4 (-1.94score)	6

2	back scratch	8 (+1.83score)	7 (-2.0score)	6
3	single leg stance	-	2 (-1.30score)	19
4	gait pattern analysis	5 (+1.83score)	6 (-1.30score)	10
5	sit to stand	3 (+1.50score)	5 (-1.31score)	13
6	active single leg raise	7 (+3.2score)	9 (-3.4score)	5
7	alternative dead bug	4 (+1.69score)	8 (-1.61score)	9
8	bird dog rotary stability	6 (+2.61score)	4 (-2.50score)	11

이 외에 참가자 중 ID 7번(60대, 여성)이 5개 운동항목에서 점수가 향상되어 가장 긍정적인 변화를 보였으며, ID 6번(50대, 남성)이 6개 운동항목에서 점수가 감소하였다.

이러한 분석 결과는 고령자에게 각 운동별 난이도, 참가자의 운동 수행 능력, 그리고 프로그램을 통해 어떤 개선 가능성이 있는지에 대한 시각을 제공한다.

4. Research Results

Table 5: Analysis of Pre-Post Changes

Variable	Test Statistic (W)	P-value	Pre Mean (SD)	Post Mean (SD)	Change (Mean ± SD)
Chronic Diseases	9.0	0.11	1.67 (1.59)	1.19 (1.43)	-0.48
Physical Strength	20.5	0.80	3.14 (1.11)	3.19 (0.98)	0.05
Health Management	3.5	0.03	3.14 (0.96)	3.52 (0.60)	0.38
Exercise Management	11.5	0.19	2.76 (2.46)	1.95 (1.77)	-0.81
Pain Region	14.0	0.23	2.81 (1.50)	4.00 (1.55)	1.19
Pain Intensity	28.0	0.12	3.14 (2.48)	2.24 (3.02)	-0.90
Physical Condition	16.5	0.45	4.43 (0.68)	4.57 (0.68)	0.14
Perceived Physical Improvement	41.5	0.16	2.91 (0.98)	2.33 (1.15)	-0.48
Concentration Memory	16.0	0.12	3.57 (1.12)	3.05 (1.28)	-0.52
Anxiety Level	35.0	0.25	2.19 (0.75)	1.86 (1.19)	-0.33

4.1. Effectiveness of Motion Analyzer

Wilcoxon 부호순위 검정 결과, 통계적으로 $p < 0.1$ 수준에서 유의미하게 변화한 변수는 건강관리와 통증 부위임을 확인하였다. 특히 변화량 평균을 고려하였을 때, 건강관리에서 긍정적인 측면에서 점수가 증가하였고, 통증 부위에서는 부정적인 측면에서 점수가 증가하였다.

참여자자의 운동 종류는 프로그램 참여 이후 늘어났으며, 운동의 빈도도 사전보다 빈도가 증가하였으며, 현재 통증이 있거나 불편한 신체 부위가 있으신지에 대한 응답은 긍정적인 변화와 부정적인 변화로 나누어 분석되었으나 긍정적인 변화가 더 많았다.

본 연구는 AI 기반 움직임 분석기 모션러리(motionary)를 활용한 맞춤형 운동 프로그램이 중장년층의 신체적, 정신적 건강을 유의미하게 향상시킬 수 있음을 입증하였다. 이는 기존의 전통적인 운동 평가 방식과는 달리, AI 기반 분석기가 제공하는 정량적 데이터를 통해 운동 프로그램의 효과를 더욱 객관적이고 신뢰성 있게 검증할 수 있음을 보여주었다. 기존의 운동 평가 방식은 주로 관찰이나 주관적 보고에 의존하는 경우가 많았으나, AI 기반 분석기는 실시간 데이터를 수집하고 이를 정량적으로 분석함으로써 더욱 정확하고 일관된 평가를 가능하게 하였다. 이러한 기술적 접근은 중장년층의 건강 관리에 있어 새로운 패러다임을 제시한다.

본 연구에서 활용된 AI 기반 움직임 분석기는 대상자의 자세와 균형 상태를 실시간으로 피드백하여 운동 수행의 정확성을 높이는 데 기여하였다. 참여자들은 이러한 피드백을 통해 자신의 운동 수행 방식을 즉각적으로 교정할 수 있었고, 이는 운동 효과를 극대화하는 데 중요한 역할을 하였다. 이러한 결과는 AI 기술이 단순히 데이터를 수집하는 도구를 넘어, 건강 관리와 재활 치료 과정에서 적극적으로 활용될 수 있는 실질적인 잠재력을 가지고 있음을 시사한다.

또한, 본 연구는 Wel-Tech 기반의 응용 가능성을 실증적으로 검토하였다는 점에서 의의가 크다. Wel-Tech은 단순히 운동 프로그램의 효과성을 검증하는 데 그치지 않고, 개인화된 건강 관리 솔루션을 설계하는 데 필수적인 역할을 할 수 있을 것으로 보인다. AI 기반 분석기를 활용하여 운동 데이터를 수집하고 이를 분석함으로써, 개별 참여자들의 신체적 상태에 적합한 맞춤형 운동 처방이 가능해졌다. 이러한 개인화된 접근은 중장년층의

신체 기능 개선뿐만 아니라 삶의 질 향상에도 직접적으로 기여할 수 있을 것이다.

본 연구는 단기적으로 운동 프로그램의 효과를 평가하였지만, 이러한 기술이 장기적인 건강 관리 시스템으로 통합될 가능성을 제시하였다. 이는 의료비 절감과 예방적 건강 관리의 측면에서 중요한 의미를 가진다. 중장년층을 대상으로 한 연구뿐만 아니라, 향후 다양한 연령대와 건강 상태를 가진 대상자들에게 Wel-Tech 기반 움직임 분석기 활용을 통하여 그 효과를 더욱 확장할 수 있을 것이다.

4.1.1. Changes in physical function and health care scores

건강관리 점수는 사전 평균 3.14에서 사후 평균 3.52로 유의미하게 증가하였다($p=0.03$). 이는 프로그램이 건강 관리와 신체 기능 개선에 긍정적인 영향을 미쳤음을 보여준다. 특히, 참여자들은 근력과 유연성 증가를 보고하였으며, 일부는 균형 감각의 향상을 경험했다고 응답했다. 이는 맞춤형 운동 처방이 중장년층의 다양한 신체 상태를 효과적으로 개선할 수 있음을 시사한다.

4.1.2. Changes in Pain Management.

프로그램은 특정 부위의 통증 감소에 효과를 보였다. 허리과 머리 통증이 감소하였으며, 일부 참여자들은 "운동 후 허리 통증이 현저히 줄었다"고 응답하였다. 그러나 엉덩이 등 특정 부위에서는 통증이 증가하는 경향도 관찰되었다. 이는 프로그램에서 해당 부위의 과사용이나 잘못된 자세로 인해 추가적인 관리가 필요함을 의미한다.

4.1.3. Exercise Participation and Persistence

프로그램 참여자들의 운동 빈도는 주 13회에서 56회로 증가하였으며, 이는 운동에 대한 긍정적 태도 변화를 보여준다. 특히, 걷기와 근력운동의 참여율이 크게 증가하였으나, 비대면 프로그램의 실천율은 다소 낮았다. 약 57.8%의 참여자가 '거의 실천하지 않음'으로 응답한 점은 가정 운동 실천을 유도하기 위한 개선책이 필요함을 보여준다. 이를 해결하기 위해 실시간 피드백 시스템과 온라인 커뮤니티 활성화가 제안될 수 있다.

4.2. Limitations of the Motion Analyzer

본 연구는 몇 가지 한계를 가지고 있다. 첫째, 연구 대상자의 수가 상대적으로 적었으며, 단일 지역에서

모집된 점은 연구 결과의 일반화 가능성을 제한할 수 있다. 따라서, 향후 연구에서는 다양한 지역과 대규모 표본을 포함하여 보다 포괄적인 결과를 도출할 필요가 있다. 둘째, 본 연구는 12주라는 비교적 짧은 기간 동안 프로그램 효과를 평가하였기 때문에, 장기적인 관점에서 운동 프로그램이 미치는 영향을 분석하지 못하였다. 장기적인 데이터를 수집하고, 시간이 지남에 따라 효과의 지속성을 평가하는 연구가 필요하다.

셋째, AI 기반 움직임 분석기가 제공하는 데이터의 정확성과 신뢰성을 더욱 검증하기 위한 추가 연구가 필요하다. 이러한 기술이 다른 Wel-Tech 도구와 통합되어 건강 관리 솔루션의 일환으로 활용될 수 있도록 기술적, 실무적 접근이 요구된다. 마지막으로, 본 연구는 운동 프로그램의 효과를 신체적·정신적 건강에 국한하여 평가하였으나, 사회적 상호작용이나 참여자의 전반적인 삶의 질에 미치는 영향에 대한 추가적인 연구도 필요하다.

4.3. Improvements for the Motion Analyzer Program

결론적으로, AI 기반 움직임 분석기는 중장년층의 건강 증진을 위한 효과적인 도구로서의 가능성을 입증하였다. 그러나 통증 관리와 운동 지속성을 높이기 위한 보완책이 필요하다. 향후 연구에서는 이를 기반으로 보다 폭넓은 접근과 응용이 이루어질 필요가 있다.

첫째, 통증 관리 강화 측면에서는 통증 증가 부위를 중심으로 전문가 상담 및 물리치료 연계 프로그램을 도입하고, 둘째, 가정 운동 동기 강화를 위해서 실시간 피드백 시스템, 온라인 커뮤니티 활성화, 동기 부여 캠페인 등 지원 체계를 확충이 필요하다. 셋째, 개인화된 운동 추천은 현재도 하고 있지만, 참여자의 점수 변화 및 신체 상태를 바탕으로 보다 정교한 운동 가이드 제공이 필요해 보인다.

5. Conclusions

본 연구는 50대 이상의 중장년층을 대상으로 AI 기반 움직임 분석기 모션너리(motionary)를 활용하여 개인 맞춤형 신체 움직임 평가와 운동 프로그램의 효과를 검증하기 위해 진행되었다. 연구는 2024년 4월부터 9월까지 강남종합사회복지관에서 이루어졌으며, 총 21명의

참여자가 12주간 대면 및 비대면 방식으로 참여하였다. 움직임 분석기는 8가지 주요 동작을 기반으로 신체 기능을 정량적으로 평가하고, 개인별 맞춤형 운동 프로그램을 제공하였다. 프로그램이 진행되는 동안 운동 지도사와 보조 진행자가 상주하며 참여자들에게 실시간 피드백과 지원을 제공하였다.

연구 결과, AI 기반 움직임 분석기를 활용한 운동 프로그램은 건강 관리 점수를 유의미하게 향상($p=0.03$) 시키며, 개인 맞춤형 운동 처방이 효과적임을 입증하였다. 걷기, 근력운동, 스트레칭 참여자가 증가하며, 운동을 처음 시작한 인원도 늘어났다. 또한, 허리과 머리 통증 응답 비율이 감소하여 해당 부위에서 개선 효과가 확인되었다. 반면, 일부 참여자의 통증 점수가 사후에 증가($p=0.1$)하고, 가정 운동 실천율이 낮게 나타나 통증 관리와 운동 지속성을 높이기 위한 추가적인 전략이 필요함을 시사한다.

참여자의 통증 관리와 운동 지속성을 높이기 위해 추가적인 피드백 시스템을 구축할 필요가 있으며, 가정 내 운동 실천을 지원하기 위한 동기 강화 프로그램과 보조 도구 개발이 필요해 보인다. 통증 부위가 증가한 참여자를 대상으로 통증이 증가한 부위와 운동 감소 경향을 보이는 참여자를 대상으로 한 정기적인 상태 점검 및 개선 전략을 포함해야 할 것이다.

AI 기반 개인화 시스템을 활용해 일일 운동 알림, 통증 관리 팁, 간단한 동작 가이드 등의 지원을 강화하고, 참여자 간의 온라인 커뮤니티를 활성화해 상호 동기 부여와 지원이 필요하다. 또한, 통증 완화 관련 전문가 상담 기회 제공 및 필요한 경우 물리치료사와 협력하여 통합적인 관리 방안을 마련될 필요가 있다.

장기적으로 기기의 활용 방법을 교육받은 전문가가 지역 사회에서 지속적으로 프로그램을 운영할 수 있도록 지원하고, 축적된 데이터를 바탕으로 특정 연령대별, 성별, 건강 상태별 맞춤형 프로그램을 지금보다 세부적으로 설계한다면, 본 연구에서 확인된 움직임 분석기의 효과성을 바탕으로, 다른 지역 사회복지관, 요양시설, 또는 기업 복지 프로그램으로 확장도 가능할 것으로 보인다.

References

- Aditi A. Bhoir, Tanish A. Mishra, Jyotindra Narayan, Santosha K. Dwivedy (2022) "Machine Learning Algorithms in Human Gait Analysis" 922-937
- Bangrong, Peng.(2023) "Research on Human Motion Recognition in Sports Training Based on Deep Learning. 1-4.
- Choi, H. J. Kim, S. H. Kim, S. Y. Lee, B. K., & Kang, H. J. (2013). "Comparison of Body Composition, Functional Fitness and Foot Pressure Balance between Muscle-Strengthening Type in Older Persons", *The Asian Journal of Kinesiology*, 15(4), pp.11-24.
- Development and Validation of AI-Based Motion Analysis Tools. *Healthcare*, 12(1), 7. DOI: <https://www.mdpi.com/2227-9032/12/1/7>.
- Effects of Exercise-Based Interventions on Functional Movement Capability in Untrained Populations: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(15), 9353.
- F. Frangoudes, M. Matsangidou, E. C. Schiza, K. Neokleous and C. S. Pattichis,(2022) "Assessing Human Motion During Exercise Using Machine Learning: A Literature Review," in *IEEE Access* , vol. 10, pp. 86874-86903
- Ha, T. Y., & Lee, H. J. (2019), "Presenting Direction for the Implementation of Personal Movement Trainer through Artificial Intelligence based Behavior Recognition", *Journal of the Korea Convergence Society*, 10(6), pp.235-242.
- Haiping, Huang., Lingjun, Zhao., Yisheng, Wu. (2023). "An IoT and machine learning enhanced framework for real-time digital human modeling and motion simulation. *Computer Communications*", *Computer Communications*, 212, pp78-89
- Lim, J. W., Lee, J. H., & Kil, H. M. (2022). "Evaluating Effectiveness of Wel-Tech Programs for Older People." *Journal of the Korean Gerontological Society*, 42(5), 937-961.
- Mata, A. J., Hayashi, H., Moreno, P. A., Dudley, R. I., & Sorenson, E. A. (2021). "Hip Flexion Angles During Supine Range of Motion and Bodyweight Squats". *International journal of exercise science*, 14(1), 912-918.
- Muda, M., & Aziz, A.Z. (2023). "Computer Vision-Based Approach for Breast Cancer Rehabilitation Evaluation: A Survey. *Engineering, Agriculture, Science and Technology Journal (EAST-J)*.
- Park, J. Y., (2020). Development of exercise posture analysis technology and artificial intelligence personal training (PT) system using deep learning, Korea Institute for Advancement of Technology, pp.1-117.
- Personalized Multicomponent Exercise Programs Using Smartphone Technology among Older Adults: A Randomized Controlled Trial. *BMC Geriatrics*, 21, 559.
- Petrissa, Zell.(2022). Learning-Based Inverse Dynamics for Human Motion Analysis
- Qiao, W., Yang, G., Gao, M., Liu, Y., & Zhang, X. (2023). Research on Sports Action Analysis and Diagnosis System Based on Grey Clustering Algorithm. 2023 Asia-Pacific Conference on Image Processing, *Electronics and Computers (IPEC)*, 472-475.
- Rigozzi, C.J., Vio, G.A., & Poronnik, P. (2022). Application of wearable technologies for player motion analysis in racket

- sports: A systematic review. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 18, 2321 - 2346.
- S. García-de-Villa, D. Casillas-Pérez, A. Jiménez-Martín and J. J. García-Domínguez,(2023) "Inertial Sensors for Human Motion Analysis: A Comprehensive Review" *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* , vol. 72, pp.1-39.
- Sang, H. A. (2019), "The Effects of Exercise Program on Cognitive Function, Depression, and Life Satisfaction in Elderly", *Journal of digital convergence*, 17 (7), pp.401-408.
- Shin, H. S., & Oak, J. S., No, M. H. (2013). "Correlationship between Balance Ability, and Muscular Fitness in the Middle age",*The Asian Journal of Kinesiology*, 15(4), pp.117-127.
- Shin, M. K., & Shin, S. J. (2008), "Effects of Group Exercise Program Tailored by Physical Fitness on Perceived Health Status, Physical Strength, Depression and Cognitive Function of the Elderly", *Korean Journal of Adult Nursing*, 20(4), pp.613-625
- Tan, J.Q., Chow, J.Y., & Komar, J. (2024). The utility of markerless motion capture for performance analysis in racket sports. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: *Journal of Sports Engineering and Technology*.
- Wilcoxon Signed Rank Test Explained. *Statistics By Jim*. <https://statisticsbyjim.com/hypothesis-testing/wilcoxon-signed-rank-test/>.
- Xianyou, Yan.(2022). "Improved Deep Learning Method for Intelligent Analysis of Sports Training Posture" *Advances in multimedia*", 2022:1-9.
- Yeh, C., Shen, W., Ma, C., Yeh, Q., Kuo, C., & Chen, J. (2023). "Real-time Human Movement Recognition and Interaction in Virtual Fitness using Image Recognition and Motion Analysis". 2023 12th International Conference on Awareness Science and Technology 242-246.
- Yeh, C., Shen, W., Ma, C., Yeh, Q., Kuo, C., & Chen, J. (2023). Real-time Human Movement Recognition and Interaction in Virtual Fitness using Image Recognition and Motion Analysis. 2023 12th International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST), 242-246.
- Yoo, K. T. (2023). "A Study on the Field Application and Prospect of Artificial Intelligence and Bio-Sensing Technology in Physical Therapy: Focusing on Customized Rehabilitation Treatment" *J Korean Soc Phys Med*, 18(3), pp.73-84. <https://doi.org/10.13066/kspm.2023.18.3.73>
- Zago Matteo , Kleiner Ana Francisca Rozin , Federolf Peter Andreas. (2021) "Editorial: Machine Learning Approaches to Human Movement Analysis" *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, Vol.8 Issn-2296-4185