

인공지능(AI)을 이용한 디지털 운동중재가 성인의 신체능력에 미치는 영향

문소라^{1,2} · 최상의^{2*} · 이후만² · 송광섭² · 최승민²

¹ 을지대학교 물리치료학과 강사, ² 엑소시스템즈 기술연구소 연구원

Effects of Digital Exercise Intervention Using Artificial Intelligence (AI) on the Physical Abilities of Adults

So-Ra Moon, Ph.D^{1,2} · Sang-Ui Choi, Ph.D^{2*} · Hoo-Man Lee, MS² · Kwang-Sub Song, Ph.D² · Seung-Min Choi²

¹Dept. of Physical Therapy, Eulji University, Instructor

²Exosystems R&D Center, Researcher

Abstract

Purpose : Along with the rapid development of digital technology, the application of digital healthcare in the medical field is also increasing. According to many experts, increasing the amount of exercise and physical activity is a helpful way to prevent and manage physical problems in modern society. However, a lack of exercise, which is of the lifestyle of modern people, leads to the development of various diseases. This study aimed to examine the effects of digital exercise intervention using artificial intelligence (AI) on the physical abilities of adults whether digital exercise intervention can be a reliable and effective therapeutic option for musculoskeletal disorders in real-world clinical settings.

Methods : In this study, exercise was conducted using a digital application to investigate the effects of an AI-based digital exercise intervention on the physical abilities of adults. A total of 13 adults were evaluated, and their physical abilities before and after the exercise intervention were compared. Hand-grip strength, functional leg muscle strength, dynamic balance, and quadriceps muscle strength were assessed. Exercise was performed using a digital application and in a non-face-to-face manner. AI identified the exercise status of each participant and adjusted the exercise difficulty level accordingly. The exercised daily for 4 weeks.

Results : A total of 12 participants were analyzed for the final results. Significant improvements were observed in hand-grip strength, functional leg muscle strength (evaluated using the stand-up test), dynamic balance, and straight-gait ability ($p<.05$), indicating an increase in the overall muscular strength and physical function of the participants.

Conclusions : Digital exercise intervention using AI is effective in improving physical abilities related to musculoskeletal function. It can be useful in clinical practice as an effective treatment option for patients with musculoskeletal disorders or muscle weakness.

Key Words : artificial intelligence, digital exercise intervention, digital exercise intervention application, physical ability

*교신저자 : 최상의, hazle@exosystems.io

※ 이 연구는 2022년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임('20018182').

제출일 : 2023년 1월 26일 | 수정일 : 2023년 3월 6일 | 게재승인일 : 2023년 3월 24일

I. 서론

1. 연구의 배경 및 필요성

디지털 기술의 급격한 발전과 함께 의료 영역에서도 디지털 헬스케어와 디지털 치료기기(digital therapeutics) 기술과 산업이 눈에 띄게 증가하고 있다(Cho, 2021). 2020년 식품의약품안전평가원의 의료기기 심사부에 따르면 '디지털 치료기기(digital therapeutics)는 의학적 장애나 질병을 예방, 관리, 치료하기 위해 환자에게 근거 기반의 치료적 개입을 제공하는 소프트웨어 의료기기(SaMD)'라고 정의하였다(Ministry of food and drug safety, 2020). 즉, 디지털 치료기기란 애플리케이션(application)과 게임, VR(virtual reality), 인공지능(artificial intelligence; AI) 등을 스마트 휴대기기를 이용해서 소프트웨어에 기반을 두고 사람들을 치료하는 것을 의미한다(Lee, 2020).

많은 전문가들은 현대 사회에서 신체의 문제를 예방하고 관리하기 위한 방법으로 운동과 신체 활동량을 늘리는 것이 도움이 된다고 얘기하기만(Annethattil 등, 2020; Davenport 등, 2020; Silva Filho 등, 2020; Sonmezer 등, 2021), 현대인의 생활방식으로 인해서 운동부족이 초래되고 그로 인해 여러 질병의 발병은 가속화된다. 또한 신체적 활동이나 운동의 기회가 항상 자연스럽게 주어지지 않으며(Richard 등, 1997) 많은 사람들이 운동을 시작하고 6개월 이내에 그만둔다(Lee 등, 2018). 돈과 시간, 노력을 들여서 운동을 지속하는 일은 쉽지 않고(Kim 등, 2021b) 집에서 스스로 운동을 하고자 해도 잘못된 자세로 운동을 수행하다가 근육 손상이나 염좌 등의 부상을 유발하기 때문에 어려움이 많다(Kim 등, 2019)

이러한 상황에서 주목을 받는 것이 디지털 치료기기를 통한 디지털 운동중재이다. 디지털 치료기기의 영역은 점차 확대되고 있으며, 일정한 장소에 직접 방문하여 제공받는 서비스가 많은 시간과 비용이 소모되는 반면에(Wong 등, 2005) 시간과 장소에 구애받지 않아 접근성이 좋고 경제적인 소모 비용을 절약할 수 있는 디지털 치료기기가 많은 관심을 받고 있다(Lee 등, 2020). 또한 디지털 치료기기는 사용자가 소프트웨어인 치료기기를 사용하게 되면 여기에서 생성되는 데이터를 저장하고

관리하는 기능 수행할 수 있으며 언제든지 그 기록을 확인할 수 있다(Kim 등, 2021a). 그렇기 때문에 디지털 운동을 중재했을 경우 본인의 운동기록을 확인하고 검토할 수 있다는 장점이 있다.

기존에 선행되었던 비대면 운동 프로그램 연구들을 살펴보자면 근골격계 질환과 일상생활에 문제가 없는 20명의 성인을 대상으로 4주간 비대면 체간 안정화 운동을 실시하였을 때, 비대면 운동 프로그램이 체간 근력, 최대 호기량, 정적 균형 능력에 증진을 영향을 주었으며(Lee & Jeong, 2021), 45세 미만의 출산 후 6개월에서 8개월 내에 해당되는 여성을 대상으로 비대면 운동 프로그램을 8주간 실시하였을 때, 체지방량, BMI, 내장지방 레벨 수치의 유의한 감소와 피하지방 두께, 복부 및 엉덩이 둘레의 수치가 감소하였으며 골반기울기 감소와 다리 근력의 상승이 나타난 것을 확인할 수 있었다(Hyun & Cho, 2021). 이와 같이 코로나 이후 비대면 운동 프로그램은 신체 능력 향상에 도움을 주는 연구가 많이 진행되고 있지만 아직까지 운동을 수행하는 사람들의 운동 종류와 운동 시간, 운동 횟수 등이 모두 기록되고 이를 바탕으로 인공지능이 운동의 전체적인 내용을 파악하여 조절하는 연구는 없다. 또한 운동을 일방적으로 알려주기만 할 뿐이고 운동을 시작하게 하는 동기를 유발하거나, 운동을 꾸준히 지속하게 하는 시스템을 갖춘 연구는 부족하다. 그러므로 디지털 치료기기를 통한 디지털 운동중재는 이러한 문제점을 해결해주는 좋은 방법으로 떠오르고 있다.

대표적인 디지털 치료기기는 pear therapeutics의 reSET과 reSET-O가 있다. reSET은 인지행동 치료(cognitive behavioral therapy; CBT)를 스마트 휴대기기 애플리케이션을 통해 제공하는 것으로 치료 효과가 입증되어 FDA 승인을 받았다. reSET-O는 마약성 진통제인 opioid 사용 장애를 치료하기 위한 디지털 치료기기이며, reSET-O를 처방받은 이후에 응급실 이용과 입원, 외래 비용이 통계적으로 유의미하게 감소하였으며 의료비용을 절감할 수 있었다는 것을 증명했다(Velez 등, 2021). 또한 이뿐만 아니라 미주신경자극 등을 활용한 디지털 전자약(Yap 등, 2020), 스마트폰에 설치하여 우울장애와 조울증 등에 적용할 수 있는 애플리케이션과(Cho 등, 2019) 손목에 착용하는 웨어러블 기기를 통해서 치료 효과를 나타낼 수

있는 기기 등(Cho 등, 2020), 일상생활에 접목하여 사용 가능한 다양한 종류의 디지털 치료기기이다.

하지만 현재 개발되고 있는 디지털 치료기기의 종류는 주로 불면증, 우울증, 조현병, 뇌전증 등과 같은 신경정신적인 질병들과 관계가 깊다. 고전적인 치료에서 벗어나 의료계의 패러다임은 점차 변화하고 있고(Kang, 2020), 병원이나 시설에 방문하지 않고 진행되는 비대면 운동의 중요성이 점차 증가하고 있는 현 상황에서 디지털 운동중재를 이용한 근육뼈대계 운동을 실시한 연구는 부족한 실정이다(Lee & Jeong, 2021).

2. 연구의 목적

본 연구는 인공지능(AI)을 이용한 디지털 운동중재가 성인의 신체능력에 미치는 영향을 파악하고자 한다. 또한 기존의 운동의 개념에서 벗어나 직접 대면이 아닌 애플리케이션을 이용한 운동의 효과를 알아보고 특정한 분야의 국한된 디지털 치료가 운동중재라는 방법을 통해서 근육뼈대계 신체의 능력 향상에도 효과가 있는지 확인한다.

II. 연구방법

1. 연구기간 및 연구대상자

본 연구는 2022년 2월 2일부터 2022년 3월 9일까지 경기도 성남시 소재의 A기업 센터에서 진행되었다. 연구대상자는 만 20세 이상의 성인 남녀로서 본 연구의 목적을 이해하고, 대상자로서 동의서에 자발적으로 서면 동의한 성인 13명을 대상으로 하였다.

본 연구의 연구대상자 제외 기준은 다음과 같다.

- 1) 조절되지 않는 고혈압, 협심증 등의 심장질환, 통증을 동반하는 근육뼈대계 또는 신경계 질환이 있는 자
- 2) 독립보행에 어려움이 있는 자
- 3) 지난 4주 이내에 다른 임상시험에 참여한 자
- 4) 기타 사유로 인하여 시험참여가 대상자에게 추가적인 위험을 초래하거나 시험 결과에 혼동을 줄 수 있다고 연구자가 판단한 경우

2. 연구방법

본 연구는 인공지능(AI)을 이용한 디지털 운동중재가 성인의 신체능력에 미치는 영향을 알아보기 위해서 디지털 운동중재 애플리케이션을 이용한 운동을 실시하였다. 본 연구는 무대조군 실험으로 진행이 되었다. 무대조군 실험은 후속 임상연구를 위한 탐색적 임상시험과 같은 경우 사용이 되며(Kim, 2002) 본 연구에서도 실제 근육의 감소가 나타나는 노인들에게 적용하기 전, 건강한 일반인을 대상으로 한 탐색 임상으로서 역할을 하며 대조군이 없이 실제 디지털 운동중재 애플리케이션을 사용하는 실험군으로만 구성이 되었다(Fig 1).

시험을 시작하기 전에 초기 평가로 다리 근력 기능평가와 동적 균형검사, 넙다리내갈래근의 근력을 측정하며, 시험이 끝난 후 다시 평가하여 시험 전/후를 비교하였다. 운동은 따로 방문하거나 대면하지 않고 디지털 운동중재 애플리케이션으로 수행되며, 운동중재 전에 애플리케이션의 조작법을 교육하였다. 그리고 애플리케이션 내에 저장되어 있는 33가지 운동 중 사전 평가를 통하여 대상자에게 맞는 운동을 선정하였다. 애플리케이션 내에 동영상과 설명이 뜨도록 하였으며, 인공지능(AI)은 대상자의 운동상태를 파악하고 평가하여 난이도를 조절하였다(Fig 2).

디지털 운동중재 애플리케이션을 통해 운동을 수행할 때, 사용자의 운동 기록을 활용하여 특징 벡터를 추출한 후, 이를 인공지능의 입력으로 인가하였다. 이때, 인공지능은 추출된 특징 벡터를 분석하여 재활 운동의 난이도를 조절하며, -1, 0, +1의 값을 결과로 출력하였다. 출력된 값은 난이도를 하향시킬 것인지, 상향시킬 것인지를 결정할 수 있고, 추가로 난이도를 유지할 지 결정할 수 있으며, 인공지능은 입력된 특징 벡터를 분석하여 사용자가 운동을 성실하게 수행하였는지 여부를 판단하였다. 본 연구는 다층 퍼셉트론 기반의 모델을 사용하여 난이도를 조절하고 성실도를 판별하는데, 난이도를 판별할 6일치의 데이터를 입력하여 결과를 출력하였다. 난이도 판별 모델을 거친 6개의 데이터는 누적이 되고 난이도가 어려울 때는 출력 값 -1(난이도를 한 단계 낮춘다), 난이도가 보통일 때는 출력 값 0(난이도는 현재로 유지한다),

Subjects (n=13) Uncontrolled trials
Pre-intervention test <ul style="list-style-type: none"> • Hand grip • Quadriceps strength • Stand-up test • Straight gait
Digital therapeutics application training
Digital exercise intervention (4 weeks) <ul style="list-style-type: none"> • Untact exercise • Check exercise record
Post-intervention test <ul style="list-style-type: none"> • Hand grip • Quadriceps strength • Stand-up test • Straight gait
Statistical analysis
Results

Fig 1. Research design

난이도가 쉬울 때는 출력 값 1(난이도를 한 단계 높인다)로 학습한다. 그리고 난이도를 판별하는 기준이 되는 T1

값은 학습 과정에서 결정된다(Fig 3). 연구자가 앱을 통해 사용자에게 운동을 처방한 후, 매일 또는 매주 반복해서 처방하는 것은 어렵기 때문에, 인공지능을 활용하여 연구자의 재처방이 진행되기 전까지 난이도를 조절하거나, 성실하게 수행하고 있는지를 관찰하였다. 난이도는 새로운 운동이 아닌 같은 운동 내에서 세트 수와 횟수로 조절되었다. 성실도를 판별할 6일치의 데이터를 입력하여 결과를 출력하였다. 성실도 판별 모델을 거친 6개의 데이터는 누적되고 성실할 때는 출력값 1(운동을 성실하게 수행하였다), 불성실할 때는 출력값 0(운동을 성실하게 수행하지 않았다)으로 학습한다. 그리고 성실도를 판별하는 기준이 되는 T2 값은 학습 과정에서 결정된다(Fig 4).

또한 대상자들은 매일 운동을 실시하도록 하였으며, 대상자들의 운동 여부, 운동 시간, 운동 종류, 운동 횟수, 운동 세트 수 등 모두 기록되는 것을 확인하고 꾸준히 운동을 하고 있는지 검사하였다. 만약 운동이 꾸준하지 않은 대상자가 있다면 연락을 통해 운동 수행을 독려하여 순응도를 높이도록 하였다. 대상자들에게는 매주 새로운 운동을 알려주었고 정해진 시간에 운동 알림이 울리도록 설정하였으며, 운동에 대한 피드백을 주거나 이상반응을 확인하였다.

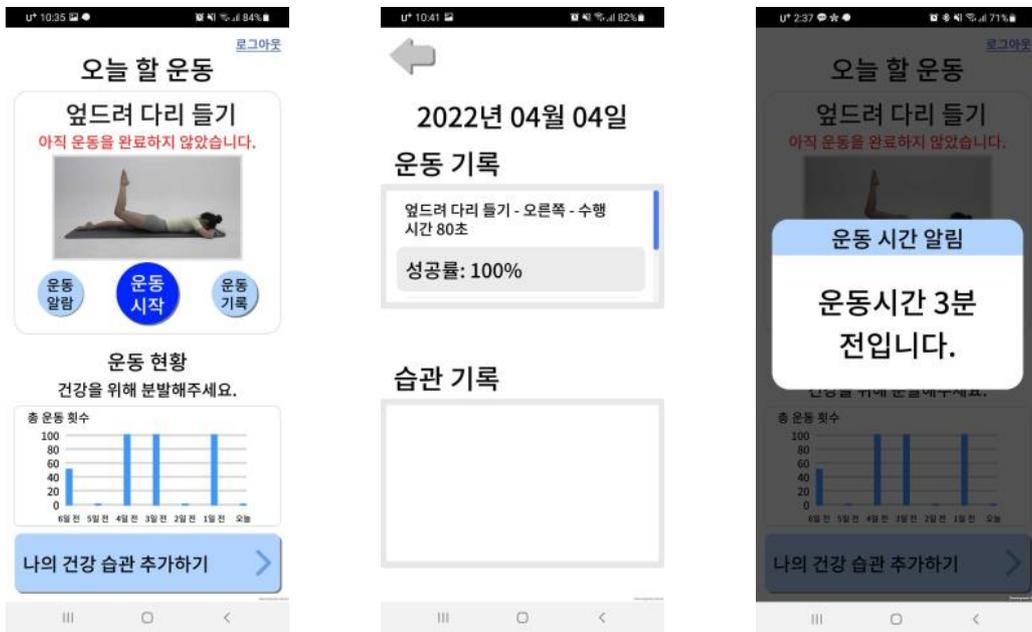


Fig 2. Digital therapeutics application

이때 운동에 대한 이상반응이 나타난다면 운동을 멈추고 편안한 자세로 휴식을 취하거나 스트레칭, 이상반응 발생 시 응급안전신고센터에 호출하여 후송될 수 있

도록 하였다. 본 연구의 운동 프로그램에 참여 동의는 하였으나 운동을 끝까지 참여하지 못한 대상자는 ‘탈락’으로 분류하였다.

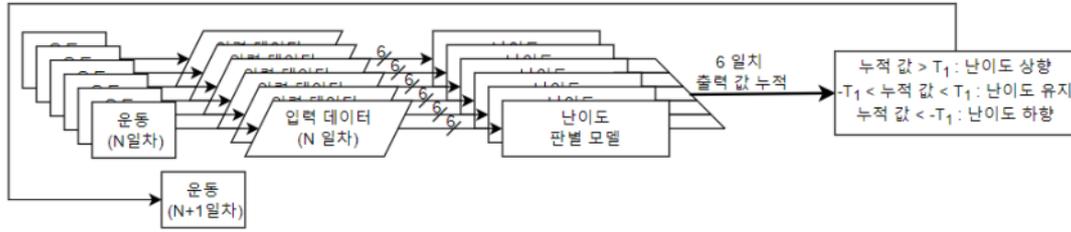


Fig 3. Distinction level of difficulty

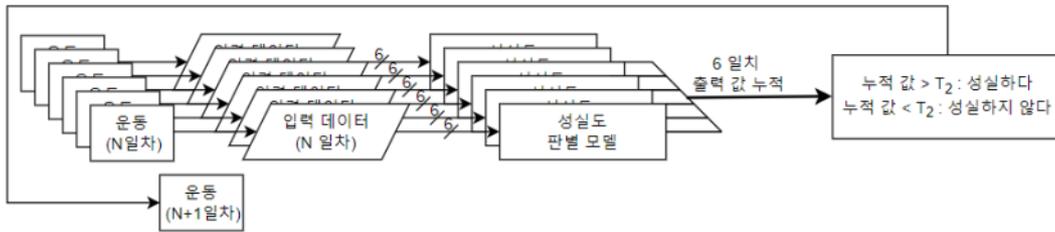


Fig 4. Distinction sincerity

3. 측정방법

1) 악력

악력은 악력기를 이용하여 측정한다. 바른 자세로 서서 앞을 보고 악력기를 쥐고 있는 손에 최대한 힘을 준다. 주로 자주 사용하는 손을 측정하였으나 손에 통증이 있거나 외상이 있는 경우 그 반대손으로 악력을 측정하였다. 5초 힘을 주고 10초 쉬는 방법으로 10회 측정을 하여 나온 평균값을 악력으로 기록하였다.

2) 다리근력 - 각근력계

엉덩이를 깊숙이 넣어 각 근력계의 의자에 앉고 고정벨트로 다리를 고정시키고 손은 양쪽의 손잡이를 잡은 상태에서 한쪽씩 고정패드를 들어 올리듯이 다리에 힘껏 힘을 주어 다리의 근력을 측정하였다. 측정 시 엉덩이가 앞으로 들리지 않게 주의하였다. 총 10회를 측정하여 나온 평균값을 다리 근력으로 기록하였다.

3) 앉았다 일어서기

대상자는 팔걸이가 있는 의자에 앉아서 30초 동안 최대한 많이 앉았다 일어서기를 실시한다. 의자에 엉덩이가 닿았다가 일어서면서 무릎이 완전히 펴졌을 때를 1회로 측정하였으며, 이때 양팔은 깍지를 끼고 몸에 붙인 상태에서 일어서는 동작을 다리만으로 수행하도록 하였다. 이 기능적 다리 근력 테스트는 1회만 측정하여 기록하였다.

4) 직선보행 테스트(straight gait test)

동적 균형을 확인하는 이 테스트는 3 m의 일직선 코스를 따라 걷는다. 보행 시 한쪽발의 엄지발가락 앞에 앞으로 내딛는 다른 발의 뒤꿈치를 붙이며 일직선으로 걸었으며 소요된 시간을 기록하였다. 비틀거리거나 중간에 선을 이탈하는 경우에도 모두 측정시간에 포함시켰으며 출발선에서 출발함과 동시에 시간 기록을 시작하

여 끝나는 선 도착하면 시간 기록을 중지하였다. 2회 측정을 실시하며 그 중 빠른 시간을 기록하였다.

4. 자료분석

본 연구에서 통계분석 프로그램 IBM SPSS Statistics 22.0를 이용하여 운동 전과 후의 기능평가 결과의 비교를 통해 통계적으로 유의하게 변화가 일어났는지를 확인하였다. 대상자들의 운동 전 후 차이를 분석하기 위해서 대응표본 t 검정으로 분석하였다. P-value는 .05이하인 경우에만 통계적 유의성이 있는 것으로 간주하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 연구대상자들의 일반적인 특성

자료가 분석된 연구대상자는 총 12명으로 남자가 8명, 여자가 4명으로 구성하였다. 연구대상자의 연령은 20대 6명으로 가장 많은 비중을 차지하였으며 30대는 5명, 40대 이상의 대상자는 1명을 구성하였다. 연구대상자는 총 13명 모집되어 운동을 진행하였으나, 1명이 탈락하여 최종 결과에 분석된 인원은 총 12명이었다(Table 1).

Table 1. General characteristics of subjects unit : n (%)

Characteristics	Categories	Subjects (n= 12)
Gender	Male	8 (66.67)
	Female	4 (33.33)
	total	12 (100.00)
Age	20s	6 (50.00)
	30s	5 (41.67)
	40 and over	1 (8.33)
	Total	12 (100.00)

2. 운동중재 전과 후의 근력 비교

근력은 전반적으로 상승한 것으로 기록되었다(Fig 5). 운동중재 전에 악력을 측정하였으며 중재 전 12명의 악력의 평균은 26.48 kg이며 표준편차는 7.89 kg이고 운동의 중재 후 악력의 평균은 29.09 kg이고 표준편차는 7.08 kg로 나왔다. 운동중재 전에 비해 운동중재 후에는 2.62 kg의 증가를 보였으며 유의한 차이를 확인할 수 있었다 (p<.05).

그리고 각근력계를 이용하여 대상자들의 넵다리네갈래근 근력을 평가하였다. 운동중재 전 대상자 12명의 다리 근력은 평균 29.53 kg이고, 표준편차는 9.90 kg였으며 운동중재 후에는 평균 35.15 kg이고 표준편차 13.87 kg로 운동중재 전과 후를 비교하였을 때 평균 5.63 kg의 증가를 보여 유의한 차이가 나타났다(p<.05)(Table 2).

Table 2. Comparison of muscular strength (unit: kg)

	Before training	After training	After-before	t	p
Hand grip	26.48±7.89	29.09±7.08	2.62±2.46	-3.69	.004
Quadriceps strength	29.53±9.90	35.15±13.87	5.62±5.85	-3.33	.007

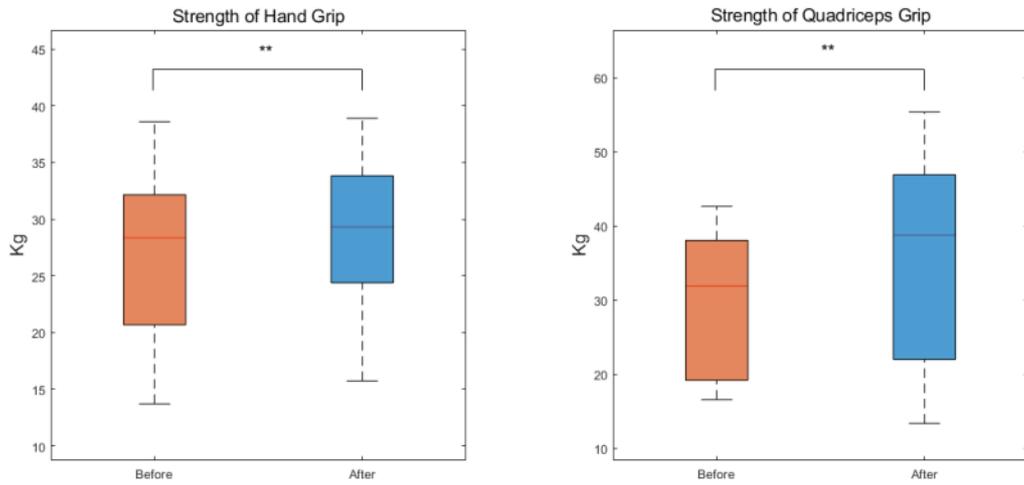


Fig 5. Comparison of muscular strength

3. 운동중재 전과 후의 신체기능 비교

신체기능 역시 전반적으로 상승한 결과를 보였다(Fig 6). 기능적 다리 근력 평가인 앉았다 일어서기 항목을 보았을 때 운동중재 전에는 평균 21.67회 이고, 표준편차는 4.31회 이었으며 운동중재 후에는 평균 27회, 표준편차는 4.49회로 운동중재 전과 후에 5.33회가 증가하여 유의한 차이가 있었다($p < .05$). 동적균형을 확인하는 직선보행

에서도 운동중재 전에는 평균 10.04초, 표준편차는 1.94초였으며 운동중재 후에는 평균 7.14초, 표준편차는 1.61초로 운동중재 전과 비교했을 때 운동중재 후에 직선보행에서 2.9초가 감소한 것을 확인할 수 있었다. 또한 직선보행 항목에서도 유의한 차이가 나타났다 ($p < .05$)(Table 3).

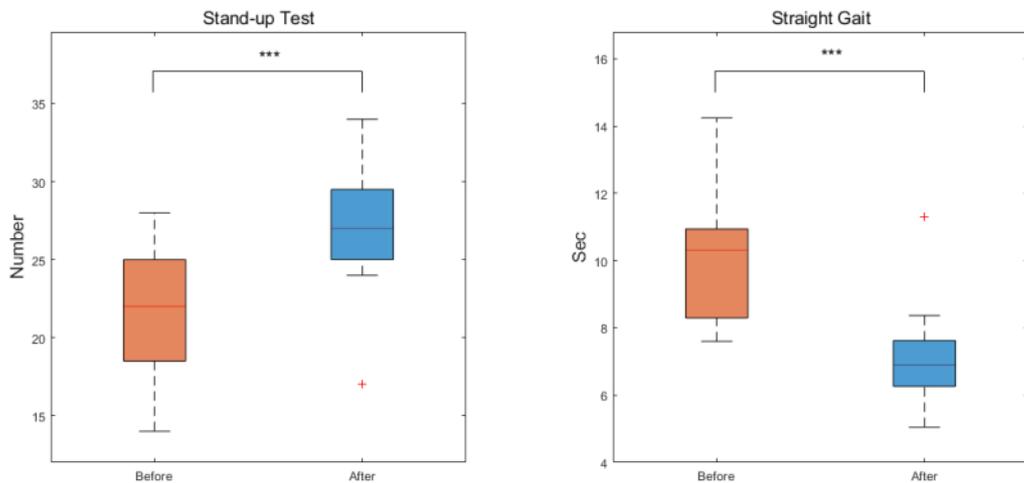


Fig 6. Comparison of physical abilities

Table 3. Comparison of physical abilities

(n= 12)

	Before training	After training	After-before	t	p
Stand-up test (number)	21.67±4.31	27±4.49	5.33±2.81	-6.58	.000
Straight gait (sec)	10.04±1.94	7.14±1.61	2.9±0.88	11.36	.000

IV. 고 찰

최근에 전 세계적으로 사람들의 운동량이 점점 부족해지고 있는 상황에서(Guthold 등, 2018) 스마트 휴대기기 시장 중 스마트폰 애플리케이션의 시장은 다양하고 풍부한 헬스케어와 운동 애플리케이션을 제공해 주며 부상하고 있다(Lee & Kim, 2010). 스마트폰 애플리케이션(smartphone application)이란, 흔히 컴퓨터에서 사용되고 있는 프로그램과 같은 개념으로서 스마트폰에서 운용되는 응용 소프트웨어라고 할 수 있다. 스마트폰 애플리케이션은 단순히 스마트폰을 보조하는 역할이 아니라 애플리케이션을 통해서 운동과 건강, 신체의 기능 등 개인의 삶에 중요한 역할을 하면서 그 중요성과 필요성이 더욱 확대되었다(So & Sim, 2014).

본 연구는 이러한 디지털 운동중재 애플리케이션을 사용하였는데, 대조군 없이 실험군으로만 이루어진 실험이다. 실험군의 사전 사후를 측정을 실시한 실험연구로 노인에게 맨손체조를 적용하였을 때 어떠한 영향이 있는지를 확인한 선행 연구를 참고하였다(Lee, 1991). 실험군은 총 4주의 디지털 운동중재를 통해서 매일 운동을 수행하게 되며 이는 인지행동치료를 기반으로 한다. 인지행동치료는 자신이 처한 문제를 해결하기 위해 대처 기술을 학습하거나 왜곡된 인지 및 행동을 변화시키는 체계적인 접근법이다(Jassim 등, 2015). 즉, 인지행동치료라는 것은 개인의 생각과 인지를 조절하여 행동의 변화 유도하고 행동 개선하며 전환할 수 있다는 것이다.

본 연구에서 사용된 인지행동치료적 중재는 애플리케이션을 사용하는 대상자들의 행동을 식별하고 수집하여, 신체기능 향상에 도움이 되는 운동을 습관화하고 조건화 학습을 활용해서 행동을 변화시키는 것에 초점을 두

었다. 운동의 동기를 유발하며 운동을 시작하게 하고, 시작한 운동을 꾸준히 지속할 수 있도록 도와주는 것이 디지털 운동중재 애플리케이션의 역할이다. 인지행동치료적 중재로 행동이 바뀌면서 더욱 큰 변화가 나타나고 인지구조가 바뀌게 되면서 경험할 수 있는 심리적, 신체적 문제에 대해서 대상자들은 보다 능동적이고 적극적으로 된다(Yoo 등, 2009).

본 연구에서는 인지행동치료를 기반으로 한 중재가 적용이 되는데 이완요법, 자가 확인 요법, 자기효능증진과 운동고취 등이 있으며 인공지능에 의해 난이도가 변화함에 따라서 대상자들은 운동 조절 및 행동수정을 통해 정밀하고 세밀한 운동을 진행할 수 있다. 또한 매일 정해진 시간에 올리는 운동 알람을 통한 운동 조건화 및 학습이 있다. 이렇게 디지털 운동중재 애플리케이션은 다양한 기능을 통해서 사용자의 운동 욕구와 운동 지속에 관여하며 디지털 운동중재 기기를 이용하는 대상자는 주당 최소 3회 이상 모바일 애플리케이션을 이용하도록 권장하고 있다.

이러한 스마트폰의 운동 애플리케이션은 뇌졸중 환자에게도 효과가 있는 것으로 나타났으며, 헬스케어 애플리케이션 기반의 자가운동을 수행하였을 때 뇌졸중 환자의 손기능과 시각만족척도에서 유의한 향상이 나타나는 것을 확인할 수 있었고(Moon & Bak, 2017), 건강관리 애플리케이션을 사용한 뇌졸중 환자는 보행, 균형, 일상생활 활동에서 유의한 결과를 나타냈다(Won 등, 2018). 본 연구에서도 20대 이상의 성인을 대상으로 디지털 운동중재를 제공하였을 때, 다리의 기능적 근력인 앉았다 일어서기에서 유의한 증가를 나타냈으며, 동적균형인 직선보행에서도 유의한 결과가 확인되었다.

본 연구의 애플리케이션에는 33가지의 운동은 신체의 여러 부위의 근육을 자극할 수 있는 운동을 포함한다.

운동은 자세에 따라 누워서 하는 운동, 앉아서 하는 운동, 서서 하는 운동으로 나눌 수 있고 자극 부위에 따라 코어 강화 운동, 다리 운동, 균형 운동, 탄력밴드를 이용한 저항 운동 등이 있다. 브릿지 운동, 누운 자세에서 두 다리를 굽히고 유지하는 코어 운동, 데드버그 운동, 슈퍼맨 운동, SLR 운동, 크런치, 플러터 킥, 시저스 크로스, 플랭크, 마운틴 클라임, 고양이 운동 등은 누운자세에서 실시할 수 있는 코어 운동이며 시티드 니업 등은 앉아서 실시할 수 있는 코어 운동이다. 또한 서서하는 운동에서는 니업 발란스, 트위스트 레그레이즈, 사이드 레그레이즈, 서서 몸통 회전 운동 등이 코어를 자극하는 운동으로 포함되어 있다. 넙다리네갈래근 등척성 운동으로 가장 많이 사용되는 큐셋운동을 포함하여 SLR 운동, 브릿지 운동, 시저스 크로스, 플러터 킥, 무릎으로 걷기, 짐볼에 앉아 다리펴기, 한쪽 다리 들어올리기, 한손으로 무릎 누르기, 체중 이동하기, 벽스쿼트, 런지, 다리 뺏기, 탄력밴드로 넙다리네갈래근에 저항을 주는 허벅지 운동이 있으며, 무릎서기 운동, 앉아서 몸통 회전, 대각선으로 팔다리 뺏기, 짐볼에 앉아 균형잡기, 니업 발란스 등이 균형 능력을 기르는 운동이다.

기존의 헬스케어 애플리케이션은 운동 할 때 상태를 체크하거나 단순 모니터링을 하는 보조적인 수단으로 활용이 되었다면(Pantelopoulos & Bourbakis, 2009) 본 연구에서는 사용자가 디지털 운동중재 기기를 사용하면서 운동에 대한 정확한 움직임, 횟수, 세트 수 등을 제공받을 뿐만 아니라 정확한 시간에 운동 알림이 울릴 수 있도록 설정하고 운동에 대한 환기가 이루어져 운동을 유도하는 적극적인 수단이 된다. 또한 이 디지털 운동중재 애플리케이션을 운동을 위해 단독으로 사용할 수 있지만 근육뼈대계 질환의 보조적인 수단으로 의료기관의 치료와 병행하여 사용할 수도 있다.

기존의 헬스케어 애플리케이션은 단순히 영상을 보고 따라하는 수준의 콘텐츠와 프로그램이 주류를 이루고 있어 애플리케이션 사용자의 동작을 분석하거나 신체능력을 파악하기 어려웠다면(Ha & Lee, 2019), 본 연구에서는 대상자들의 근력 및 신체능력을 평가하여 운동방법과 시간 등을 효과적으로 제공하였으며, 내 신체능력에 맞게 인공지능을 통한 운동의 난이도가 조절된다. 같은 운동을 매일 똑같은 횟수로 단순히 따라하는 것이 아

니라 개인의 신체능력 향상에 맞춰 그에 알맞는 운동횟수와 세트 수 등이 제공되었다.

본 연구의 디지털 운동중재 기기는 전문가의 의견을 바탕으로 개인의 신체 능력에 따라 각자 다른 운동을 처방하여 수행하도록 하였다. 의료진과 같은 전문가의 조언은 노인들의 운동과 신체활동 참여에 매우 중요한 역할을 한다(Yoo & Lee, 2008). 전문가의 역할을 단순히 바른 운동 방법을 알려주는 데서 그치는 것이 아니라 전문가가 대상자를 지켜보고 있다는 사실을 통해서 대상자들의 불안을 감소시키고 운동에 대한 믿음이 증가한다. 인지행동치료는 특히 내담자라고 하는 전문가의 역할이 매우 중요하데(Beck & Beck, 2020; Jesse, 2017), 본 연구의 디지털 운동중재 기기는 전문가와의 상담이 이루어지는 것은 아니지만 전문가의 평가를 바탕으로 개인맞춤 운동이 처방되고 대상자가 꾸준히 애플리케이션을 사용하고 있는지 전문가가 확인을 한다. 만약 대상자가 꾸준히 디지털 운동중재 기기를 사용하지 않는다고 판단이 되며 전문가는 대상자에게 연락을 하여 현재 상황을 파악하고 어떠한 문제가 있는지 확인을 한다. 이러한 과정에서 알게 되는 정보를 바탕으로 다음 운동을 처방할 때 전문가는 개인맞춤 운동 과제를 처방할 수 있다.

또한 기존의 일부 헬스케어 애플리케이션 역시 데이터를 저장하고 관리하는 기능을 수행할 수 있었으나(Kim 등, 2021a) 본 연구의 디지털 운동중재 기기는 단순히 저장하는 것뿐만 아니라 운동횟수, 운동방법, 운동시간, 운동날짜 등 대상자가 실시한 운동에 대한 모든 것이 기록되고, 대상자는 언제든지 자신의 운동정보를 확인하여 운동량이 얼마나 향상되었는지, 운동시간이 얼마나 증가되었는지 스스로 인지하고 이를 바탕으로 운동을 계획할 수 있다. 매일 운동 기록이 쌓여가면서 대상자는 성취감을 느낄 수 있으며 새로운 운동에 대한 동기부여로서도 작용하며 운동을 지속하도록 하는 격려자로서의 역할을 담당한다. 그리고 운동을 중재하는 관리자가 기록을 확인하고 운동에 대한 피드백과 설명, 조언을 할 수 있다는 장점이 있다.

인공지능은 영상의학, 진단의학, 정밀의학 등에서 인간보다 데이터 분석이나 정확도가 높기 때문에 진단하는 능력이 뛰어나다(Kim 등, 2017). 본 연구는 인공지능 기반의 운동 난이도 조절 및 성실도 평가 알고리즘을 포

함한다. 관리자가 운동을 처방한 후, 환자는 처방된 운동을 통해 운동 능력이 향상되기 때문에, 그에 맞는 운동 난이도 조절이 지속적으로 필요하다. 이를 바탕으로 본 연구의 인공지능은 수행된 운동의 난이도가 높다고 판단된다면 다음 번 운동 시에는 운동 횟수와 세트 수를 낮춰 운동의 난이도를 조절하고, 만약 수행된 운동의 난이도가 낮다고 판단된다면 다음 운동에는 운동 횟수와 세트 수를 높여 운동의 난이도 역시 높여준다. 또한, 관리자는 환자가 처방된 운동을 성실하게 이행하고 있는지 확인하고, 다음 처방에 반영할 필요가 있기 때문에 애플리케이션을 이용한 인공지능 기반의 운동 난이도 조절 및 성실도 평가 알고리즘을 제안하였다.

대상자는 운동을 1회 실시할 때마다 앱 내 버튼을 눌러서 1회당 운동 수행 시간을 기록한다. 이때, 일반적인 운동 수행 시간 대비 실제 운동 수행 시간의 상대적 차이를 난이도 조절 및 성실도 평가의 주요 지표로 사용한다. 또한 정밀한 평가를 위해, 첫 세트, 중간 세트, 마지막 세트의 주요 지표 평균을 특징으로 추출한다. 추출된 특징들은 처방된 운동을 수월하게 수행하였는지를 판단할 수 있기 때문에, 난이도 조절 및 성실도를 평가하는데 사용할 수 있다. 처방된 운동은 세트 간 쉬는 시간이 포함되어 있기 때문에, 권장하는 쉬는 시간 대비 실제 쉬는 시간의 평균을 특징으로 추가적으로 추출하였다. 동일한 시간 동안 운동을 수행했는지라도, 쉬는 시간에 따라 운동 능력을 다르게 평가하는 것은 알고리즘 측면에서 중요하다. 마지막으로, 처방된 운동 횟수 대비 실제 진행률을 특징으로 추출하였다. 진행률은 권장된 운동 횟수를 기준으로 실제 수행된 운동을 나타내기 때문에, 운동의 난이도 및 사용자의 성실성을 판단하는데 중요한 지표가 된다. 마지막으로, 하루의 데이터로 평가하는 것이 아니라, 지난 5일분의 데이터를 인공지능 모델의 입력 특징 벡터로 구성한다.

인공지능 모델을 학습하기 전에, 학습을 위한 데이터를 인위적으로 생산하였다. 이를 위해, 다변량 정규 분포를 따르도록 추출된 특징벡터를 기반으로 랜덤하게 데이터를 생성하였으며, 전문가가 생성된 데이터에 대해 성실성을 0 또는 1로, 난이도 조절에 대해 -1, 0, +1로 마킹하였다. 인공지능 모델을 만들기 위해, 우리는 라벨링된 학습 데이터를 이용하여 다층 퍼셉트론 기반의 분류

모델을 학습하였다. 이때, 생성된 데이터는 물리치료사에 의해 운동 수행 능력에 따라 라벨링을 진행하였기 때문에 해당 데이터로 학습된 인공지능 모델은 물리치료사의 의사를 반영한다.

그리고 본 연구에서 사용된 다층 퍼셉트론 기반의 모델과 사용자의 운동 기록을 이용하여 운동 난이도 조절 및 성실도를 평가한다. 기존에는 처방된 운동으로 인해 향상된 사용자의 건강 상태를 구체적으로 확인할 수 없기 때문에 동일한 운동을 계속 반복해서 수행해야한다. 또한, 운동을 성실하게 이행하였는지 확인하기 어렵기 때문에 관리자가 다음 운동을 처방할 때 적절한 운동을 선택하는 것이 어렵다. 이러한 이유로 제안된 알고리즘은 관리자의 운동 처방 사이에서 운동 효과를 극대화하기 위해 필요하다. 비록 제안된 모델을 학습하기 위해 사용된 데이터들이 인위적으로 생성되었을지라도, 전문가의 판단하에 라벨링 된 데이터베이스이기 때문에, 학습된 인공지능 모델은 전문가의 의사를 반영하여 운동 난이도를 조절하고 성실성을 판단한다. 따라서 제안된 알고리즘을 통해, 전문가의 직접적인 관여를 최소화하여 다수의 사용자는 처방된 운동에 대한 지루함 없이 건강을 위해 효과적으로 운동을 수행할 수 있도록 도움을 줄 수 있다.

이는 비대면 운동중재의 특성상 대상자의 운동 수행에 대한 적합도를 완벽하게 파악하지 못할 수 있다는 한계점을 극복하고, 인공지능이 대신 그 기능을 수행하여 대상자에게 알맞은 운동 횟수와 세트 수를 제공하여 좀 더 정확하고 정밀한 운동중재 프로그램을 개발한다는 것에 큰 의미가 있다.

다만 본 연구는 4주 동안 비대면으로 진행되었다는 점에서 대상자들의 일상생활을 모두 통제하기 어려웠고, 스스로 운동시간을 지켜 수행해야 하는 애플리케이션 운동이다 보니 꾸준히 운동을 하지 못해 13명의 모집 대상자들 중 1명이 탈락하였다는 한계점이 있었다. 이는 단순히 디지털 치료기기의 개발뿐만 아니라 지속가능하고 꾸준히 이용할 수 있는 중재 프로그램이 만들어져야 한다는 것을 뜻한다. 또한 대상자 모집이 어려워 실험군의 수가 적고 본 연구를 진행하기 전, 탐색 임상연구로 대조군이 없는 실험으로 진행이 되었으나 추후 연구에서는 실험군과 대조군을 설정하여 임상실험이 진행되어

야 할 것으로 생각된다.

V. 결론

본 연구는 건강한 성인에게 인공지능을 이용한 디지털 운동중재 기기가 신체능력 개선에 효과가 있는지 알아보기 위해서 실험을 하였다.

측정은 시험 전과 후, 근력과 기능평가 측정을 2회를 실시하였다. 그 결과 디지털 운동 중재 후 악력과 다리 근력, 앉았다 일어서기에서 유의한 증가가 나타났으며 동적균형을 알아보는 직선보행에서도 유의한 차이가 있었다. 결과적으로 인공지능을 이용한 디지털 운동중재 기기는 근력의 증가와 근육뼈대계 신체능력의 향상에 효과가 있으며, 실제 임상에서 근육뼈대계 질환이나 근력이 약한 환자를 대상으로 효과적인 치료 방법으로 선택될 수 있다고 사료된다.

참고문헌

- Annethattil A, Ali M, Sabbagh A(2020). The reality of Covid 19 pandemic and its implication on physical activity and exercise. *Int J Med Exerc Sci*, 6(4), 909-915. <https://doi.org/10.36678/IJMAES.2020.V06I04.008>.
- Beck JS, Beck AT(2020). *Cognitive behavior therapy: basics and beyond*. 1st ed, New York, Guilford Publications, pp.108-121.
- Cho CH(2021). Clinical application of digital therapeutics for insomnia. *Sleep Med Psychophysiol*, 28(1), 6-12. <https://doi.org/10.14401/KASMED.2021.28.1.6>.
- Cho CH, Lee T, Kim MG, et al(2019). Mood prediction of patients with mood disorders by machine learning using passive digital phenotypes based on the circadian rhythm: prospective observational cohort study. *J Med Internet R*, 21(4), Printed Online. <https://doi.org/10.2196/11029>.
- Cho CH, Lee T, Lee JB, et al(2020). Effectiveness of a smartphone app with a wearable activity tracker in preventing the recurrence of mood disorders: prospective case-control study. *JMIR Men Health*, 7(8), Printed Online. <https://doi.org/10.2196/21283>.
- Davenport MH, Meyer S, Meah VL, et al(2020). Moms are not ok: covid-19 and maternal mental health. *Front Glob Womens Health*, 1, Printed Online. <https://doi.org/10.3389/fgwh.2020.00001>.
- Guthold R, Stevens GA, Riley LM, et al(2018). Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: a pooled analysis of 358 population-based surveys with 1·9 million participants. *Lancet Glob Health*, 6(10), 1077-1086. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(18\)30357-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(18)30357-7).
- Ha TY, Lee HJ(2019). Presenting direction for the implementation of personal movement trainer through artificial intelligence based behavior recognition. *J Korea Converg Soc*, 10(6), 235-242.
- Hyun AH, Cho JY(2021). Effect of 8 weeks un-tact Pilates home training on body composition, abdominal obesity, pelvic tilt and strength, back pain in overweight women after childbirth. *Exerc Sci*, 30(1), 61-69. <https://doi.org/10.15857/ksep.2021.30.1.61>
- Jassim GA, Whitford DL, Hickey A, et al(2015). Psychological interventions for women with non-metastatic breast cancer. *Cochrane Database Sys Rev*, 28(5), Printed Online. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008729.pub2>.
- Jesse HW, Gregory KB, Michael E(2017). *Learning cognitive-behavior therapy*. 1st ed, Washington, American Psychiatric Publishing, pp.108-121.
- Kang SJ(2020). The paradigm of healthcare transformed into DTx (Digital Therapy). *Clinical Experimental Emergency Medicine*, 1, 13.
- Kim DH, Lim JM, Kim GS(2021a). MQTT secure topic generating mechanism in digital therapeutic platform. *Korean Institute Commun Informa Sci*, 2021(2), 1076-1077.
- Kim DW, Nam HJ, Lee SY, et al(2019). Multi-user home-training healthcare system using kinect sensor and

- wearable devices. *J Korean Institute Commun Informa Sci*, 44(4), 719-727. <https://doi.org/10.7840/kics.2019.44.4.719>.
- Kim HS, Jeon WT, Yang GM, et al(2017). The age of artificial intelligence (AI), healthcare future prospects. *Korean Med Assoc*, 15(1), 86-102.
- Kim HW, Lee HL, Son JE(2011). An exploratory study on the determinants of smartphone app purchase. In *The 11th international DSI and the 16th APDSI joint meeting*. Taipei, Taiwan, pp.1-10.
- Kim KS(2002). Clinical trial design and ethics. *J Korean Acad of Fam Med*, 23(5), 573-582.
- Kim SH, Seo IH, Lee SM(2021b). Effect of at-home workout participant's expectations on perceived value and intention to continue exercise. *Korean Soc Sports Sci*, 30(4), 421-432. <https://doi.org/10.35159/kjss.2021.8.30.4.421>.
- Lee CY(2020). Digital therapeutics using brain waves XR Research on how to create Contents. *Korean J Animation*, 16(4), 197-209.
- Lee DW, Jeong MB(2021). Effect of the untact trunk stabilization exercise program on muscle thickness, trunk strength, maximal expiratory flow, and static balance. *J Korean Soc Phys Med*, 16(1), 73-81.
- Lee KP, Lee YG, Yoon YJ(2018). The mediating effect of exercise outcome expectation in the structural relationship between exercise imagery, exercise outcome expectation and intention to exercise adherence. *Korean J Sport Psychol*, 29(2), 13-24. <https://doi.org/10.14385/KSSP.29.2.13ISSN1226-685X>.
- Lee JY, Park CM, Moon SY, et al(2020). A study on the digital therapeutics chatbot, U-Me for alleviating depression and anxiety of young adults in 2030s. *Proceedings of HCI Korea*, 2020(2), 960-965.
- Lee SN(1991). The effect of exercise designed for the aging on health promotion in the rural elderly. Graduate school of Yonsei University, Republic of Korea, Doctoral dissertation.
- Moon JH, Bak IH(2017). The effects of self-exercise based on health care application on upper extremity function and daily living, satisfaction in patients with stroke. *J Korea Institute Electron Commun Sci*, 12(3), 515-524. <https://doi.org/10.13067/JKIECS.2017.12.3.515>.
- Pantelopoulos A, Bourbakis NG(2009). A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (applications and reviews)*, 40(1), Printed Online. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2009.2032660>.
- Richard M, Christina MF, Deborah LS, et al(1997). Intrinsic motivation and exercise adherence. *Int J Sport Psychol*, 28(4), 335-354.
- Silva Filho E, Xavier J, Cezarino L, et al(2020). Comment on “the importance of physical exercise during the coronavirus (covid-19) pandemic”. *Rev Assoc Med Bras*, 66(9), 1311-1313. <https://doi.org/10.1590/1806-9282.66.9.1311>.
- So R, Sim SS(2014). Study on impact of employee involvement in leisure sports mobile applications on sports participation, leisure satisfaction, and life satisfaction. *Korean Soc Sports Sci*, 23(2), 185-200.
- Sonmezer E, Özköslü MA, Yosmaoğlu HB(2021). The effects of clinical pilates exercises on functional disability, pain, quality of life and lumbopelvic stabilization in pregnant women with low back pain: a randomized controlled study. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 34(1), 69-76. <https://doi.org/10.3233/BMR-191810>.
- Velez FF, Colman S, Kauffman L, et al(2021). Real-world reduction in healthcare resource utilization following treatment of opioid use disorder with reSET-O, a novel prescription digital therapeutic. *Expert Rev Pharmacoecon Outcomes Res*, 21(1), 69-76. <https://doi.org/10.1080/14737167.2021.1840357>.
- Won YS, Moon JH, Roh JS(2018). The effects of tabata exercise using health care application on balance, gait and activities of daily living in patients with stroke. *J Korea institute Electron Commun Sci*, 13(6), 1387-1396.

- <https://doi.org/10.13067/JKIECS.2018.13.6.1387>.
- Wong YK, Hui E, Woo J(2005). A community-based exercise programme for older persons with knee pain using telemedicine. *J Telemed Telecare*, 11(6), 310-315. <https://doi.org/10.1258/1357633054893346>.
- Yap JYY, Keatch C, Lambert E, et al(2020). Critical review of transcutaneous vagus nerve stimulation: challenges for translation to clinical practice. *Front Neurosci*, 14, Printed Online. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00284>.
- Yoo J, Lee SA(2008). Cognitive-behavioral processes of change over stages of exercise behavior for older adults. *Korean J Sports Sci*, 17(4), 513-525.
- Yoo MS, Lee HJ, Yoon JA(2009). Effects of a cognitive-behavioral nursing intervention on anxiety and depression in women with breast cancer undergoing radiotherapy. *J Korean Acad Nurs*, 39(2), 157-165.
- Ministry of Food and Drug Safety, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation. Digital therapeutics authorization, evaluation guidelines (civil petitioner guide), 2020. Available at https://www.mfds.go.kr/brd/m_1060/view.do?seq=14596 Accessed February 25, 2022.