

관성센서와 로드셀을 사용한 Smart Dumbbell 구현과 응용 콘텐츠

박선희*¹, 권구민**¹, 김상규**², 심미선***, 정성택*²

Implementation of Smart Dumbbells using Inertial Sensors and Load Cells and Its Application Contents

Sunhee Park*¹, Goomin Kwon**¹, Sanggyu Kim**², Miseon Shim***, and Sungtaek Chung*²

본 연구는 2024년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원 (No.RS-2023-00243958)과 2024년도 정부 (산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (P0012725, 2024년 산업혁신인재성장지원사업)

요약

노화로 인한 근감소증은 근력 감소로 인하여 삶의 질을 떨어뜨릴 수 있으므로, 특히 고령자의 상지 근력 강화를 위한 중재 방법이 필요하다. 근감소증 예방과 관리는 신체 부하를 줄이고 근육 수축과 이완을 반복하는 운동기구 사용이 효과적이다. 본 연구에서는 신체의 움직임을 측정하기 위한 IMU 센서와 정량적인 악력 측정을 위한 로드셀을 결합하여, 사용자의 근력에 따라 무게를 조절할 수 있는 Smart Dumbbell을 새롭게 구현하였다. 또한, 상지 근력의 정량적 평가와 저항성 운동을 위한 근육 수축 및 이완 운동 콘텐츠를 제작하여, 상지 근력 강화를 위한 통합적인 운동 플랫폼을 제안하였다. 제안된 Smart Dumbbell과 콘텐츠를 활용한 운동이 표적 근육군의 활성화를 효과적으로 유도하여, 상지 근력 강화를 위한 중재 방법으로서 적합함을 확인하였다.

Abstract

Sarcopenia due to aging can lead to a decline in muscle strength, which can reduce the quality of life, making it necessary to implement interventions to strengthen upper limb strength, especially in the elderly. Prevention and management of sarcopenia are effectively achieved through the use of exercise equipment that reduces physical load while promoting muscle contraction and relaxation. In this study, we developed a new smart dumbbell that combines an IMU sensor for measuring body movement and a load cell for quantitative grip strength measurement, allowing for weight adjustment based on the user's strength. Additionally, we created a comprehensive exercise platform that includes quantitative evaluation of upper limb strength and resistance training contents focused on muscle contraction and relaxation. The proposed exercise using the smart dumbbell and contents effectively activated the target muscle groups, confirming its suitability as an intervention method for enhancing upper limb strength.

Keywords

sarcopenia, upper limb strength, resistance exercise, IMU sensor, smart dumbbell

* 한국공학대학교 컴퓨터공학과(*² 교신저자)
- ORCID¹: <https://orcid.org/0009-0004-9142-4788>
- ORCID²: <http://orcid.org/0000-0002-8692-0179>
** 한국공학대학교 바이오헬스융합공학과 석사과정
- ORCID¹: <https://orcid.org/0009-0007-4323-1190>
- ORCID²: <https://orcid.org/0009-0004-6574-6601>
*** 한국공학대학교 인공지능학과 교수
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9708-7613>

· Received: Jul. 15, 2024, Revised: Sep. 13, 2024, Accepted: Sep. 16, 2024
· Corresponding Author: Sungtaek Chung
Dept. of Computer Engineering, Tech University of Korea, 237,
Sangidaehak-ro, Siheung-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea
Tel.: +82-32-8041-0527, Email : unitaek@tukorea.ac.kr

1. 서 론

근육은 단순히 팔다리를 움직이는 역할뿐만 아니라, 면역기능, 호흡기능, 심혈관 건강, 당 대사 등 신체 전반에 걸쳐 영향을 미친다. 근육량 감소는 면역기능과 폐활량을 저하시키고, 고혈압, 심혈관 질환, 당뇨병 등의 순환기·대사증후군 질환 발병 위험을 높인다. 근육에서 분비되는 물질들은 새로운 혈관과 신경의 생성에 관여하는데, 노화가 진행될수록 근육량 감소로 인해 이 과정이 저해되면서 인지기능 저하뿐만 아니라 낙상과 고관절 골절의 위험이 증가한다. 즉, 골격 근육량 감소는 근감소증(Sarcopenia)을 유발할 뿐만 아니라 여러 가지 질환을 발생시킬 수 있다[1]-[3]. 따라서 신체 노화가 일어날수록 근감소증을 예방하고 적절한 근육량과 근력을 유지하는 것이 매우 중요하다[1]-[3].

근감소증 발병률과 심각성이 점점 높아지면서, 2016년에 국제질병통계분류 제10차 개정판(International statistical classification of diseases and related health problems, 10th revision)에서 진단코드가 부여되기 시작했으며, 2017년 세계보건기구(WHO)에서 정식으로 질병코드(M62.84)로 등재되었다[4]. 일반적으로 근감소증 진단은 악력, 보행속도, 골격근 질량 지수(SMI, Skeletal Muscle mass Index), 골밀도 검사(DXA, Dual X-ray Absorptiometry) 등을 통해 이루어지고 있다. 그러나 이러한 진단 방식들은 고가의 의료 장비와 숙련된 인력이 필요할 뿐만 아니라 장비 설치 장소로의 접근성이 떨어지고 복잡한 진단 방법을 활용해야 한다는 한계가 있다.

최근까지도 근육의 증상적 또는 기능적 감소를 완화하거나 예방하기 위한 근감소증 약물 치료제로는 주로 근육을 강화하거나 보호하기 위해 사용되고 있으며, 근육의 성장과 기능 개선에 효과적인 것으로 알려진 근육 강화 운동이 주된 치료방법으로 활용되고 있다. 일반적으로 알려진 중재 요법 연구로는 운동요법, 영양요법, 건강교육 등이 있으며, 이들 중 운동요법의 유산소 운동과 저항성 운동이 근감소증 개선에 가장 효과적인 것으로 알려져 있다[5][6].

예를 들어 B. Strasser et al.(2009)[7]의 연구에서는

65세 이상의 고령자 42명을 대상으로 6개월간 유산소 운동(Bicycle ergometer)과 저항성 운동으로 그룹을 분류한 후 근력량을 비교한 결과, 저항성 운동그룹에서 통계적으로 유의하게 최대 근력이 증가하였고, 유산소 운동 그룹에서는 최대 근력의 변화는 없지만 체지방 감소가 일어났다. 또한, M. S. Fraga et al.(2019)[8]의 연구에서는 요양원에 거주하는 근감소증 고령자 19명을 대상으로 12주간 leg press machine, rubber bands, dumbbells 등을 활용한 저항성 운동 프로그램을 수행한 결과, 악력과 신체 능력이 크게 향상되었다고 보고하였다.

위의 연구 결과들은 근력 강화를 위해서 유산소 운동과 저항성 운동을 병행하는 것이 이상적이지만, 근감소증 예방과 관리에 필수적인 것은 저항성 운동이라는 점을 시사한다. 저항성 운동은 신체의 부하를 줄 수 있는 운동기구를 사용하여 관절 가동범위 내에서 근육의 수축과 이완을 반복하므로 근감소증을 예방하고 관리하는 데 있어 매우 효과적인 중재 방법으로 알려져 있다[8][9].

대표적인 저항성 운동 기구인 덤벨, 바벨, 탄력밴드 등에 ICT 기술을 접목하여 운동 효과를 증대시키고, 사용자의 편의성을 향상시키려는 시도들이 많아지고 있다. 예를 들어 저항성 운동기구 중의 하나인 케이블 머신기에 AC 서보 모터와 로드셀(Load Cell)을 적용하여 운동 하중, 운동 횟수, 소모 칼로리 등을 효과적으로 관리하기 위한 오토 트레이닝 시스템이 개발 되었다. 이 시스템은 Xbox Kinect를 이용하여 신체 움직임에 따라 장애물을 피하거나 격파하는 “SIRTET”기능성 게임 콘텐츠와 로보틱스 기술 기반의 트레이닝 머신을 사용하여 관절이나 근육의 길이가 같은 속도로 움직이는 등속성 검사 및 AI 트레이너가 적합한 운동을 추천하는 연구 등이 있다[10][11].

덤벨에 관성 센서와 통신 모듈을 적용한 저항성 플랫폼에는 ‘In the GYM’, ‘Move it beat’, ‘PIEPIEGG’ 등이 있으며, 이 플랫폼들은 사용자의 운동 횟수, 운동 시간 등의 정보를 조회하거나 영상 스트리밍을 통해 운동 자세와 방법만을 알려주는 기능을 가지고 있다. 그러나 이러한 플랫폼들은 개체별 근력 차이를 고려한 상지 기능의 운동상태나

점진적인 개선 정도를 평가하는 데 한계가 있다. 특히 근감소증을 예방하고 적절한 근육량과 근력 유지가 필요한 고령자에게는 운동 전후에 대한 상지 근력 기능의 상태를 모니터링하여 근력 수준에 맞는 적절한 운동 강도를 추천하고, 운동 전후의 변화를 바로 보여줄 수 있는 모바일 앱이나 온라인 플랫폼이 필요하다.

본 연구에서는 저항성 운동 시 신체의 움직임을 측정하기 위한 IMU 센서와 정량적인 악력 측정을 위하여 로드셀을 적용한 Smart Dumbbell을 제안하였다. Smart Dumbbell을 활용하여 개인별 근력 차이에 따라 분동 무게를 조절할 수 있도록 하고, 상지 운동 기능의 현재 운동 상태와 운동 전후 개선 정도를 실시간으로 평가한 후 근력 수준에 맞는 운동 콘텐츠를 제공하기 위한 온라인 플랫폼을 구현하였다. 구현된 운동 게임 콘텐츠는 게임 요소를 접목하여 고령자들에게 재미와 흥미 요소를 제공함으로써 지속적인 운동 참여를 유도시키고자 하였다. 더불어 Smart Dumbbell에서 획득되는 운동 데이터를 시각화하여 사용자의 운동 수행 능력과 상지 기능의 점진적 개선 정도를 직관적으로 보여줄 수 있도록 하였다.

II. Smart Dumbbell 구현

2.1 Smart Dumbbell 제작

본 연구에서 사용된 Smart Dumbbell은 다음과 같은 구성 요소로 이루어졌다. 정량적 악력 측정을 위한 로드셀(CWFS-100) 모듈, 덤벨의 움직임을 감지하여 운동량을 측정하기 위한 관성센서(Inertial Measurement Unit; OSTSen-9250) 모듈, 측정데이터 전송을 위한 BLE(Bluetooth Low Energy; BoT-nLE521D) 모듈, 그리고 각 모듈에서 획득된 데이터를 처리하기 위한 메인보드로 구성되었으며, 이에 대하여 그림 1에서 보여주고 있다.

로드셀은 지름 28mm, 높이 8mm의 소형 와셔형으로 최대 100kg까지 악력 측정이 가능하다. 주요 사양은 표 1에 나타냈으며, 특히 비직선성 0.2% 이하 및 반복성 0.2% 이하로 정밀한 측정이 가능할

정도의 낮은 오차율을 가지고 있다. 로드셀에서의 출력 전압은 매우 미세하게 변하기 때문에, 차동증폭기를 사용하여 증폭하였고, 이를 16bit ADC로 샘플링 하였다.

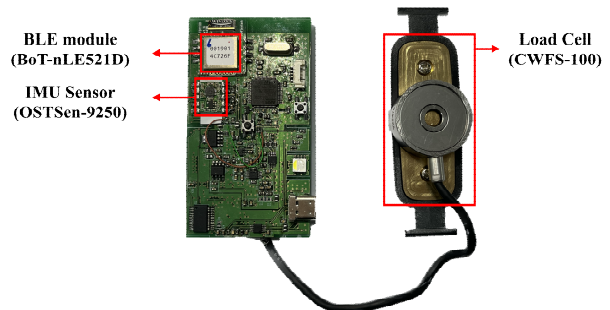


그림 1. 스마트 덤벨의 주요 모듈
Fig. 1. Main module of Smart Dumbbell

표 1. 로드셀 장치(BONGSHIN LOADCELL, CWFS-100) 사양
Table 1. Loadcell(BONGSHIN LOADCELL, CWFS-100) spec

Item	Description
Rated output	2.0mV/V(Approx.)
Material	Stainless steel(17-4PH)
Non-linearity	≤0.2% R.O.
Repeatability	≤0.2% R.O.

이러한 정밀한 측정 시스템을 통해 Smart Dumbbell은 사용자에게 정확하고 신뢰성 있는 악력 데이터를 제공하고자 하였다. 이는 운동 중 실시간 피드백을 가능하게 하며, 사용자의 운동 효과를 극대화하는 데 기여할 수 있다.

로드셀의 정확도와 반복성 검증은 정량적으로 압력을 가할 수 있는 디지털 포스 게이지(AFG-50, AXIS)를 활용하여 이루어졌다. 5 ~ 50kgf 범위 내에서 5kgf 간격으로 5회 반복 측정한 평균값을 표 2에 나타냈다. 디지털 포스 게이지와 Load Cell로 측정한 결과의 상관계수는 0.99로, 그림 2에서 보여준 것과 같이 디지털 포스 게이지와 측정값이 거의 선형적으로 일치하고 있음을 알 수 있다. 이 결과는 로드셀의 측정값이 디지털 포스 게이지의 측정값과 거의 선형적으로 일치하여 높은 정확도와 반복성을 보임을 나타내고 있다. 이러한 검증 결과는 Smart Dumbbell의 신뢰성을 높이며, 사용자가 측정된 데이터를 기반으로 정확한 피드백을 받을 수 있게 한다.

표 2. 로드셀 5회 측정 무게를 평균한 결과
Table 2. Result of averaging the weight of the load cell 5 times

Digital force gauge(kgf)	Measured weight(kgf)
5	4.98
10	9.99
15	15.05
20	19.89
25	24.84
30	30.45
35	34.75
40	40.67
45	45.56
50	50.54

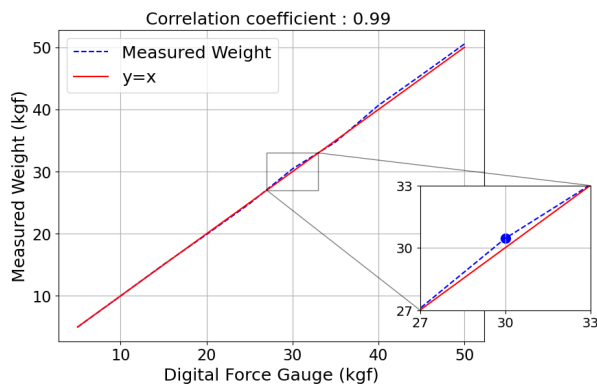


그림 2. 디지털 힘 게이지와 측정된 무게의 상관관계 그래프

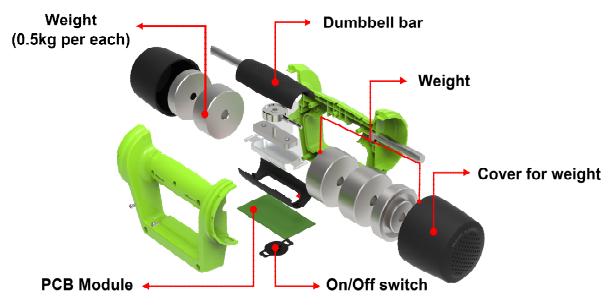
Fig. 2. Graph of correlation between digital force gauge and measured weight

사용자의 실시간 운동 정보를 측정하기 위해 가속도, 자이로, 지자기 센서로 이루어진 IMU센서를 사용하여 덤벨 움직임에 따라 x, y, z 축의 회전각을 획득할 수 있다. 실시간으로 측정되는 회전각 데이터는 BLE(Bluetooth Low Energy)를 통해 콘텐츠에서 사용되는 소프트웨어로 전송되어 덤벨 동작을 실시간으로 분석된다. 또한 가속도 센서로부터 획득한 Pitch와 Roll의 회전각 데이터와 Load Cell의 미세한 전압값의 노이즈 제거를 위해 연속적인 데이터에서 일정 구간의 평균을 취함으로써 급격한 변화를 완화하고 데이터를 평활화하는 이동평균 필터를 적용하였다.

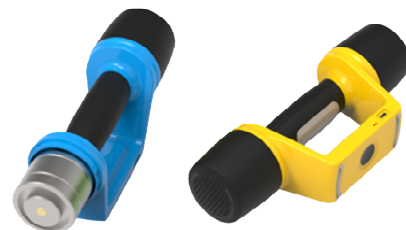
그림 3(a)에서 보여주듯이 제작된 Smart Dumbbell 무게는 0.5kg 분동을 사용하여 사용자가 필요에 따라 덤벨 무게 조절할 수 있도록 하였다. 덤벨 손잡이 내부에는 데이터 측정 및 제어를 위한 메인보드

와 Load Cell이 내장되어 있으며, 4색 LED를 사용하여 배터리 잔량 부족 시 빨간색, 충전 중일 때 흰색, 충전 완료 시 녹색, 블루투스 연결 시 파란색 LED가 점등되도록 하여 직관적으로 덤벨의 상태를 나타냈다.

이와 같은 설계는 사용자가 Smart Dumbbell을 사용하는 동안 덤벨의 상태를 직관적으로 파악할 수 있게 하여 편리성과 효율성을 높였다. 이동평균 필터를 적용한 데이터 평활화 기술은 실시간 운동 분석의 정확도를 높이며, 이를 통해 사용자는 보다 정밀한 피드백을 받을 수 있다.



(a) Smart Dumbbell 구성
(a) Smart Dumbbell configuration



(b) Smart Dumbbell 프로토타입
(b) Smart Dumbbell prototype

그림 3. 제작된 Smart Dumbbell의 프로토타입
Fig. 3. Prototype of manufactured Smart Dumbbell

2.2 상지 기능 모니터링을 위한 시스템 구성

그림 4는 덤벨을 사용한 운동 추천 프로세스를 보여주는 시스템 구성도이다. 여기서 Smart Dumbbell의 센서 데이터는 시리얼 통신을 통해 Unity로 전송되어 객체 단위로 저장된 후, JSON 형태로 변환한 뒤 HTTP Method를 사용하여 서버와 송수신한다. Spring 서버는 Java에서 ORM(Object-Relatioanl Mapping) 기술 표준으로 사용되며, 데이터베이스에서 맵핑된 관계를 이용하여 SQL(Structured Query Language)을 생성하고 실행하는 관계형 데이

터베이스를 사용하는 방식을 정의한 인터페이스인 JPA(Java Persistence API)를 활용하여 구현된 클래스와 Maria DB의 테이블을 매핑한다. 이를 통해 사용자의 개인 정보(신장, 몸무게, 나이, 성별, 질병 유무 등), 측정 값(악력, Arm curl 횟수 등) 및 콘텐츠 수행결과(게임 점수, 운동 횟수, 운동 시간 등)가 Maria DB에 저장된다.

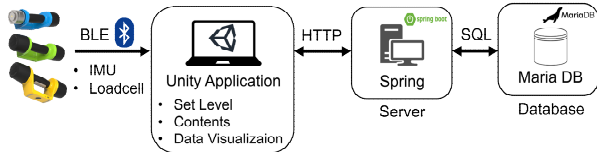


그림 4. 덤벨 운동 시스템 구성도

Fig. 4. Dumbbell exercise system configuration diagram

그림 4에서 보여주는 Unity Application에서 제공되는 상지 운동 콘텐츠는 그림 5 (a)에서 측정된 사용자의 악력(Handgrip Strength)과 Arm Curl 값을 기반으로 근력 수준을 평가한 후 콘텐츠 난이도를 결정된다. 이를 기반으로 그림 5 (b)와 같이 사용자 수준에 맞는 근력 운동 콘텐츠를 추천받아 수행하게 되며, 그림 5 (c)에서는 결과에 대한 시각화를 통해 사용자의 운동 결과를 직관적으로 확인할 수 있도록 하였다.

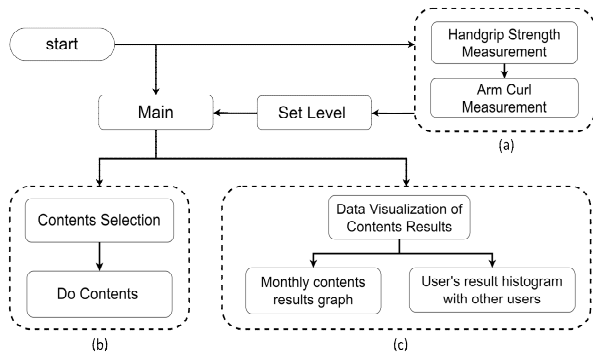


그림 5. 상지기능 모니터링 흐름도 (a) 콘텐츠 레벨 설정을 위한 측정 흐름 (b) 사용자의 근력 수준에 따른 콘텐츠 선택 및 실행 (c) 사용자의 운동 모니터링을 위한 콘텐츠 결과 데이터 시각화

Fig. 5. Flowchart of monitoring of upper extremity functions (a) Measurements flow for setting contents level (b) Contents selection and execution based on user's strength level (c) Data visualization of contents results for monitoring user's exercises

여기서 악력검사는 전완근의 근력을 간접적으로 평가하는 방법으로, 전완근이 전신의 근육량 및 근력상태와 높은 상관관계를 가지고 있으며, 표 4 (a)의 성별 및 연령별에 따른 기준치에 미달할 경우 근감소증 가능성이 있다고 하였다[2][12]. 본 연구에서 최대 악력측정은 3초 동안의 측정하며[13], 측정된 악력 값들 중 최대값을 해당 피험자의 최대 악력으로 정의하였고, 이는 식 (1)과 같이 나타냈다[14]. 악력 측정 시 1회 측정 후 60초 동안 휴식을 취하여 3회까지 측정하였다. 이는 반복되는 악력 측정으로 측정값의 감소가 발생하는 것을 줄이기 위해 60초의 휴식시간을 두는 것이 적정하다는 연구 결과를 토대로 하였다[15].

$$F_{\max} = \max(F_0, F_1, F_2, \dots, F_{(N-2)}, F_{(N-1)}) \quad (1)$$

또한, 팔꿈치를 완전히 굽혔다가 다시 완전히 펴는 동작을 1회로 계수하는 Arm Curl 검사는 성별에 따라 규정된 덤벨 무게(남성 3.5kg, 여성 2.5kg)를 사용하여 30초 동안 양팔을 번갈아 가며 측정한다. Arm Curl 검사 결과는 표 3 (b)에 제시된 성별 및 연령별 표준치와 비교하여, 좌우 측정값 중 어느 한 쪽이라도 해당 연령대의 표준치에 미달할 경우 상지 근력의 저하를 의미하는 것으로 평가하였다.

표 3. 악력 검사 및 30초 Arm curl 검사 정상 기준
Table 3. Handgrip strength test & 30 sec arm curl tests the normal standard

(a) 악력 검사 정상 기준

(a) Normal standard of Handgrip strength test

Handgrip strength	
Gender	Normal Range
Men	≥28kg
Women	≥18kg

(b) 30초 Arm curl 검사 정상 기준

(b) Normal standard of 30 sec Arm curl test

Arm curl (repeat count 30 sec)		
Age	Men	Women
60-64	16-22	13-19
65-69	15-21	12-18
70-74	14-21	12-17
75-79	13-19	11-17
80-84	13-19	10-16
85-89	11-17	10-15

악력 및 Arm Curl 검사 결과를 바탕으로 사용자의 근력 수준을 평가하고, 수행할 콘텐츠에 따라 운동 강도를 설정하게 된다. 본 연구에서는 근력 수준을 표 3에서 제시하고 있는 악력과 Arm Curl의 정상 기준 값을 적용하여 Easy, Normal, Hard의 3단계로 구분하였으며, 이를 표 4에 나타냈다. 사용자의 근력 수준에 맞춰 구분된 단계에 따라 근력 강화 콘텐츠별 난이도를 조절하였다. 사용자가 수행하는 상지 운동 콘텐츠 결과들은 콘텐츠 수행 점수, 악력 및 Arm Curl 측정 결과 등의 데이터가 실시간으로 수집하여 사용자의 근력 변화 추이, 월별 운동 수행 빈도, 점수 분포, 근력 지표의 변화 등을 시각화하여 보여주었다.

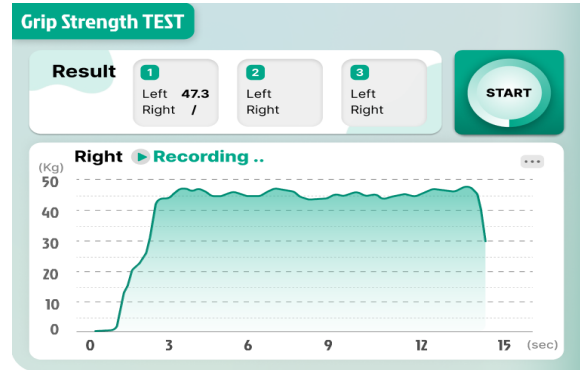
표 4. 시험결과에 따른 난이도 설정
Table 4. Setting the level based on the tests results

Level		
	Arm curl < std	Arm curl ≥ std
HS < std	Easy Mode	Normal Mode
HS ≥ std	Normal Mode	Hard Mode

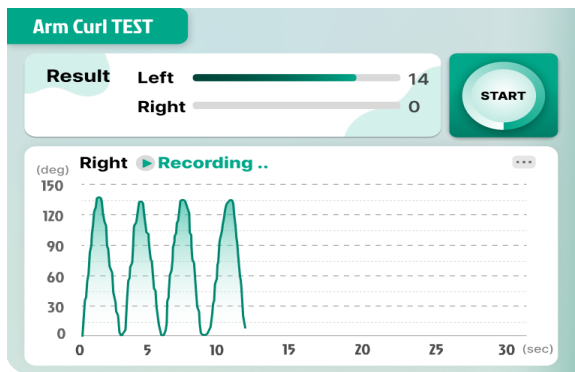
III. Smart Dumbbell을 활용한 콘텐츠

3.1 상지 근력 측정을 위한 콘텐츠

최대 악력과 최대 Arm curl 횟수 측정을 위한 사용자 인터페이스는 그림 6과 같이 보여주고 있다. 그림 6(a)는 최대 악력을 측정을 위한 UI이며, 우측 상단의 'START' 버튼을 누르고 3초 후에 측정 시작을 알리는 비프음이 울리고, 종료 시점에도 비프음으로 측정 종료를 알린다. 좌우 양손의 악력을 각각 3회씩 측정하며, 측정 간 1분씩 휴식을 반복하면서 진행된다. 각 손에 대한 3회 측정값 중 최대값을 해당 손의 최대 악력으로 정의하였다. 그림 6(b)는 Arm Curl 반복 횟수 측정을 위한 UI로, 악력 측정 방법과 동일하게 'START' 버튼을 누르고 3초 후에 측정을 시작한다. 하다. 사용자는 Smart Dumbbell의 무게 조절 기능을 활용하여 남성은 3.5kg, 여성은 2.5kg의 부하로 설정한 후, 30초 동안 덤벨을 최대한 많이 들어 올리는 동작을 수행한다. 이렇게 측정된 Arm Curl 횟수는 표 3(b)에 제시된 성별 및 연령별 표준 기준값과 비교하여 상지 근력을 평가하는 데 활용된다.



(a)



(b)

그림 6. 상지 기능 측정 사용자 인터페이스
(a) 악력 측정 (b) Arm curl 측정

Fig. 6. User interface for test of upper extremity functions
(a) Handgrip strength test (b) Arm curl test

3.2 상지 근력 강화를 위한 콘텐츠

구현된 상지 훈련 콘텐츠는 고령자의 상지 근력 개선을 위해 스트레칭, 악력, 덤벨 암 풀 다운, 프론트 로테이션, 로우 덤벨 플라이 등 총 5개로 구성되었다. 콘텐츠를 수행하기 전에 사용자의 갑작스러운 운동으로 인한 근육 부상을 예방하고, 근육 활성도를 높여 근성장을 촉진하기 위한 전신 근육을 점진적으로 이완시키는 준비운동이 필수적이다[16]. 따라서 본 연구에서는 부상을 방지하고 운동 효과를 극대화하기 위한 스트레칭 콘텐츠를 도입하였으며, 이는 요추의 굴곡 및 신전 동작을 통해 상체와 코어 근육군을 포괄적으로 사용할 수 있도록 설계하였다. 그림 7은 스트레칭 콘텐츠의 (a)게임 콘텐츠 화면과 (b)실제 스트레칭 수행 동작을 보여주고 있다.

스트레칭 콘텐츠에서는 사과, 바나나 등으로 표적을 구성하고, 장애물은 검은색 색상으로 구분하여 제시하였다.



(a)



(b)

그림 7. 요추 신전 및 굴곡을 위한 스트레칭 훈련 콘텐츠
 (a) 게임 콘텐츠 (b) 실제 스트레칭 수행 동작
 Fig. 7. Stretching training contents for lumbar extension and flexion (a) Game contents (b) Actual stretching behavior with contents



표적은 화면 상단에서 하단으로 떨어지고, 사용하는 캐릭터가 들고 있는 바구니를 좌우로 이동시켜 장애물을 회피하면서 표적을 수집해야 한다. 사용자는 주어진 시간 내에 최대한의 표적을 수집하고, 장애물을 회피하여 높은 점수를 획득하는 것이 목표이다. 콘텐츠 수행 시, 사용자는 양팔을 머리 위로 든 상태에서 덤벨을 잡고, 허리를 굴곡 및 신전시키며 바구니를 좌우로 움직이게 된다. 이를 통해 상지 및 체간 근육의 이완과 활성화를 도모할 수 있는 것이다. 또한 덤벨을 활용한 양팔 거상 동작과 요추의 굴신 운동을 통해 상체와 코어 근육군을 고루 사용하도록 유도함으로써, 전신의 균형 잡힌 스트레칭 효과를 얻을 수 있다.

저항성 운동 콘텐츠는 삼각근, 전완근, 대흉근, 광배근 등 주요 상지 근육군을 표적으로 하는 4가지 동작으로 구성하였다. 각 동작에 대한 콘텐츠는 구현된 Smart Dumbbell의 실시간 움직임과 연동되어 수행된다. 하지만 IMU 센서의 특성상 덤벨의 각도 변화가 없는 일부 동작(예: 프레스 동작)에는 정확한 인식이 어려운 한계가 있다. 이러한 한계를 고려하여 덤벨의 회전이나 상하 이동이 동반되는 플라이(Fly)나 풀다운(Pull-down)과 같은 동작으로 콘

텐츠를 설계하였다.



삼각근은 상완 관절의 분리와 안정화에 핵심적인 역할을 담당하는 근육으로, 특히 팔의 거상 동작을 주도한다[9]. 회전근개와 협력하여 상완골두의 과도한 전위를 억제함으로써 견관절의 안정성 유지에 기여한다. 이 삼각근 운동 콘텐츠는 전방 삼각근의 효과적인 활성화에 초점을 맞춘 견관절 운동 콘텐츠로 구현하였다. 콘텐츠에 적용된 주요 동작은 'Supine Grip Front Raise'에서 파생된 'Front Raise Rotation'으로[17], 덤벨을 전방으로 뺀 상태에서 손목의 회내/회외를 수반한다. 세부적인 내용은 표 5에 나타났다.

표 5. 어깨 운동 콘텐츠 세부사항
 Table 5. Details of shoulder exercise contents

Name	Horray
Exercise	Front raise rotation
Gameplay	A running game where the player avoids randomly generated obstacles by rotating their wrist while holding a dumbbell. Hitting obstacles reduces the fruit count displayed in the upper left corner.
Exercise method	The player rotates the dumbbell to control the character's movement. The IMU sensor tracks the y-axis rotation, syncing the dumbbell's movement with the character's actions. If the y-axis rotation exceeds $\pm 50^\circ$, the tilt is fixed at the maximum value.
Expectations	Expected to enhance upper limb strength and shoulder stability, aid in shoulder pain prevention, and improve daily activity performance in the elderly.
Gameplay screen	
Player image	
Differences in game modes by difficulty	Difficulty is based on the duration of the movement. Higher difficulty levels increase the time required to maintain the front raise rotation and the number of obstacles. Higher scores are awarded for overcoming obstacles at increased difficulty.

전완근은 고령자의 전반적인 근력 수준을 반영하는 주요 지표로 활용되며, 전완근 근력의 저하는 만성질환, 장애, 나아가 사망 위험과도 밀접한 관련이 있다고 하였다[12]. 고령자의 건강한 삶을 유지하기 위해서는 적절한 수준의 전완근 근력을 유지하는 것이 필수적이며, 근력이 부족할 경우 이를 증진시키기 위한 체계적인 훈련이 필요하다. 이에 본 연구에서는 Smart Dumbbell의 로드셀을 활용한 전완근 강화 운동 콘텐츠를 구현하였으며 표 6에 나타냈다.

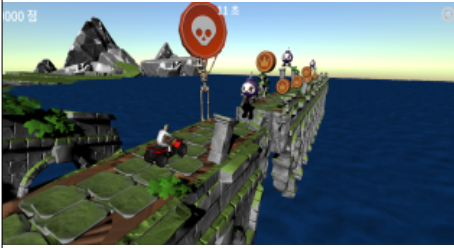

표 6. 악력 운동 콘텐츠 세부사항
Table 6. Details of handgrip exercise contents

Name	Jump
Exercise	Handgrip exercise
Gameplay	The player controls a character that jumps to collect coins while avoiding bombs. The number of coins collected determines the score.
Exercise method	The character's jump height is proportional to the user's grip strength, measured by the dumbbell. The maximum jump height is determined by the user's maximum grip strength recorded during the upper limb strength assessment. Grip strength is visualized in real-time via a progress bar on either side of the character.
Expectations	Aims to enhance forearm strength in the elderly, supporting the maintenance and improvement of physical function. Proper forearm strength is expected to reduce the risk of chronic diseases, disability, and mortality.
Gameplay screen	
Player image	
Differences in game modes by difficulty	Difficulty is determined by the time taken to reach maximum grip strength. As difficulty increases, so does the time required, along with higher scores for coin collection.

대흉근은 상완골의 내전과 내회전에 관여할 뿐만 아니라 호흡 시 흉곽의 거상에도 기여하는 근육으로, 다양한 상지 운동과 호흡 운동에서 핵심적인 역할을 담당한다[18]. 일반적으로 대흉근의 기능 저하는 상지의 가동범위를 제한하고 견관절의 전방 전위를 유발할 수 있기 때문에 고령자에게는 주요한 근육 강화 운동이다.

대흉근은 상완골의 내전과 내회전에 관여할 뿐만 아니라 호흡 시 흉곽의 거상에도 기여하는 근육으로, 다양한 상지 운동과 호흡 운동에서 핵심적인 역할을 담당한다[18].

표 7. 가슴 운동 콘텐츠 세부사항
Table 7. Details of chest exercise contents

Name	Jump
Exercise	Low dumbbell fly
Gameplay	A running game where the player avoids obstacles and collects coins. The number of coins collected determines the score.
Exercise method	The player's dumbbell lifting motion is detected by the IMU sensor's x-axis rotation. When the dumbbell is raised over 60° towards the chest, the character jumps, and the longer the contraction is held, the slower the descent.
Expectations	This pectoral exercise is expected to enhance shoulder joint stability and improve arm function. Strengthening the pectoral muscles as auxiliary breathing muscles may also improve respiratory function.
Gameplay screen	
Player image	
Differences in game modes by difficulty	Difficulty is determined by the time the movement is maintained. Higher difficulty levels require holding the movement longer, with course obstacles and layouts becoming more challenging. Additionally, higher scores are awarded for coin collection as difficulty increases.

일반적으로 대흉근의 기능 저하는 상지의 가동범위를 제한하고 견관절의 전방 전위를 유발할 수 있기 때문에 고령자에게는 주요한 근육 강화 운동이다.

콘텐츠 설계는 전면 대흉근의 효과적인 활성화를 목표로, 엉덩이 너비로 양발을 벌리고 상체를 곧게 세운 자세에서 덤벨을 들어 옆으로 벌린 뒤, 팔꿈치를 약간 구부린 채 어깨 높이까지 들어올리는 '로우 덤벨 플라이(Low Dumbbell Fly)' 동작을 활용한 가슴 운동을 구현하였다[19]. 이에 대한 자세한 내용은 표 7와 같이 나타났다.

광배근은 흉곽의 후하방에 위치한 광범위하고 편평한 근육으로, 상지의 움직임, 특히 팔의 회선 동작에 상당한 기여를 한다. 호흡의 보조근으로서 기침이나 재채기와 같은 강력한 호기 시에 활성화되는 것으로 보고되고 있다[20]. 따라서 고령자의 일상생활 활동과 호흡 기능의 유지를 위해서는 광배근의 강화가 필수적이다.

구현된 콘텐츠는 광배근의 효과적인 수축을 유도하기 위해 'Arm Pull-down' 동작을 변형하여, 덤벨을 등 뒤로 끌어내리는 움직임을 통해 광배근과 상완삼두근을 자극하는 '덤벨 암 풀 다운(Dumbbell Arm Pull-down)' 동작을 설계하였다[21]. 광배근 강화 운동 콘텐츠에 대한 자세한 내용은 표 8에 나타났다.

모든 콘텐츠는 개인의 근력 수준에 맞추어 등장성 운동(Eccentric Exercise)의 원리를 적용하여 동작 유지 시간을 점진적으로 증가하도록 난이도가 설계되었다. 등장성 운동은 편심성 수축과 동심성 수축을 모두 포함하는 근수축 형태인 등장성 수축을 특징으로 하는 신체 운동이다[22]. LaStayo et al.의 연구에 따르면, 등장성 운동에서 편심성 수축이 발생시키는 높은 장력은 근비대와 근력 증강에 효과적인 자극으로 작용할 수 있다고 하였다. 그러나 과도한 강도는 근손상이나 통증을 유발할 수 있으므로 초기에는 낮은 강도와 운동량으로 시작하여 점차 강도를 높여가는 것이 중요하다고 강조하였다[23]. 이 결과를 바탕으로 난이도에 따라 유지 시간을 단계적으로 증가시킴으로써 개인의 근력 수준에 적합한 운동 강도를 제공하고자 하였으며, 자세한 사항은 표 9에 정리하였다.

표 8. 등 운동 콘텐츠 세부사항

Table 8. Details of back exercise contents



Name	Horray
Exercise	Dumbbell arm pull down
Gameplay	A game where the player controls a hang glider to pass through as many rings as possible, with the number of rings passed determining the score.
Exercise method	When the player performs the dumbbell arm pull down, the hang glider rises at a maximum angle if the dumbbell's x-axis rotation exceeds 50°. Between 25° and 50°, the rise angle is proportional to the rotation. Between 10° and 25°, the glider maintains level flight, and below 10°, it descends.
Expectations	This exercise is expected to improve upper limb function related to arm rotation and enhance the latissimus dorsi's role as an auxiliary breathing muscle, aiding in daily activities and maintaining respiratory function in the elderly.
Gameplay screen	
Player image	
Differences in game modes by difficulty	Difficulty is determined by the time the movement is maintained. As difficulty increases, the time required to maintain the front raise rotation increases, along with the number of obstacles. Higher difficulty levels also award more points for overcoming obstacles.

표 9. 등장성 운동 원리를 활용한 콘텐츠별 난이도

Table 9. Level by contents using the principle of eccentric exercise

Name	Level
Horray (Easy/Normal/Hard)	Raise with 2sec/4sec/6sec
Jump (Easy/Normal/Hard)	Grip for 3sec/4sec/5sec to max power
CarJump (Easy/Normal/Hard)	Low fly with 3sec/4sec/5sec
HangGlide (Easy/Normal/Hard)	Pull Down 4sec/6sec/8sec hold for max angle

또한, 각 콘텐츠의 운동 반복 횟수는 미국스포츠 의학회(ACSM)의 가이드라인을 참고하여 설정하였다. ACSM에서는 고령자나 체력이 저하된 개인의 근육 건강 증진을 위해 1-RM의 40-50% 강도로 10-15회 반복적인 저항운동을 권장하고 있다[24]. 이를 반영하여 개인의 근력 수준에 따라 Easy (10회), Normal (12회), Hard (15회)의 3단계로 운동 반복 횟수를 구분하여 콘텐츠를 설계하였다.

3.3 콘텐츠 결과 데이터 시각화

본 연구에서는 사용자의 콘텐츠 수행 결과와 근력 향상 정도를 직관적으로 파악할 수 있도록 여러 가지 그래프를 활용하여 그림 8에서 보여주고 있다.

그림 8(a)는 월별 콘텐츠 수행 빈도를 방사형 차트로 나타냈으며, 각 축은 개별 콘텐츠를, 방사형

눈금은 한 달 간 해당 콘텐츠를 수행한 횟수를 의미한다. 이 차트를 통해 사용자는 자신의 콘텐츠별 참여도를 시계열적으로 파악하여 운동 습관의 변화를 거시적 관점에서 모니터링할 수 있다.

그림 8(b)는 사용자의 가장 최근 콘텐츠 수행 점수와 다른 사용자들의 평균 점수를 비교한 막대 그래프를 보여주며, 사용자와 타인의 현재 운동 능력 수준을 비교하여 근력 수준에 대한 상대적 위치를 파악할 수 있도록 하였다.

그림 8(c)와 (d)는 가로축은 측정 시점, 세로축은 각 측정치의 값으로 사용자의 최근 5회 분량의 악력과 Arm Curl 측정치 변화를 보여주고 있다. 그래프 상단에 있는 초기값(First)과 최신값(Recent)을 비교하여 사용자의 상지 근력 변화 추이를 시각적으로 확인할 수 있도록 하였다.



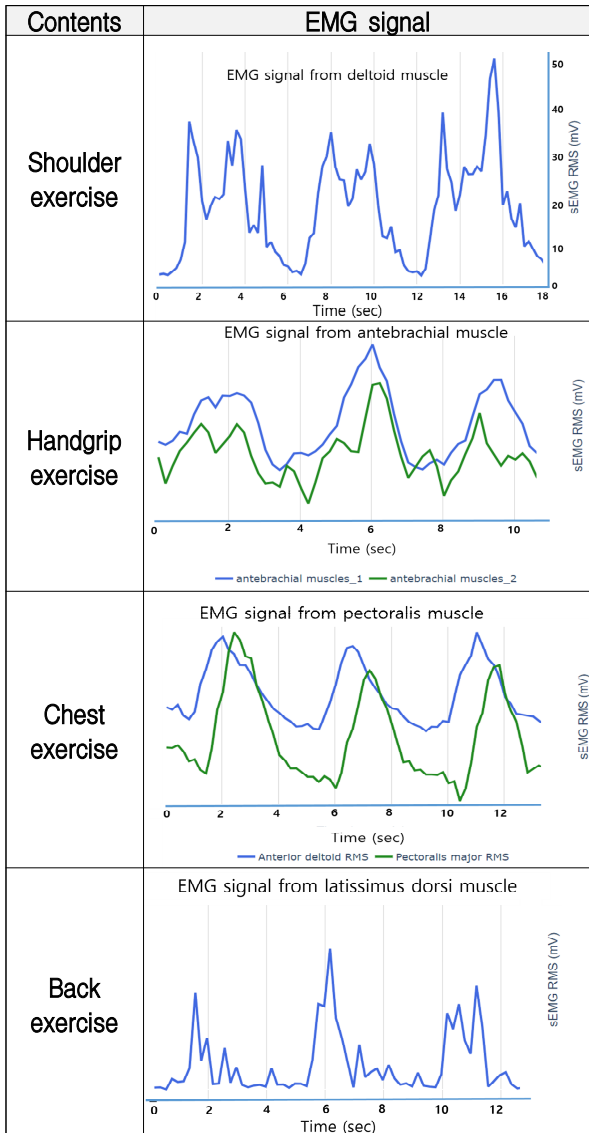
그림 8. 콘텐츠 수행 결과 시각화 (a) 월별 콘텐츠 결과 (b) 사용자별 콘텐츠 점수 결과 히스토그램 (c) 사용자의 마지막 5회 악력 측정 결과 (d) 사용자의 마지막 5회 암 컬 측정 결과

Fig. 8. Visualization of contents performance results
 (a) Monthly contents results (b) Histogram of user contents score results
 (c) User's last 5 grip strength measurements (d) User's last 5 arm curl measurements

3.4 콘텐츠에 대한 근육 활성화 검증

본 연구에서는 Smart Dumbbell을 활용하여 각각의 근육 강화 콘텐츠를 수행하여 근육이 활성화가 유도되는 지에 대한 평가를 하였다. 이에 따른 실험 결과는 표 9에 나타났다. 삼각근, 전완근, 대흉근, 광배근 등 주요 상지 근육군을 활용한 콘텐츠 수행 중 각 근육이 효과적으로 활성화됨을 확인하였으며, 이를 통해 제안된 Smart Dumbbell과 콘텐츠를 활용한 운동이 표적 근육군의 활성화를 효과적으로 유도하여, 상지 근력 강화를 위한 중재 방법으로서 적합함을 확인하였다.

표 9. Smart Dumbbell을 활용한 콘텐츠 수행 시 근전도 신호
Table 9. EMG signal during contents test using smart dumbbell



어깨 운동 콘텐츠를 수행하는 동안 전면 삼각근의 근전도 신호는 운동 중 주기적으로 강하게 활성화되었으며, 덤벨을 들어 올리는 동작에서 특히 두드러진 활성화를 보였다. 악력 운동 콘텐츠에서는 전완근의 근전도 신호가 운동 내내 안정적이면서도 높은 수준으로 유지되었으며, 이는 사용자가 최대 악력을 발휘할 때마다 전완근이 효과적으로 자극받고 있음을 시사한다. 가슴 근육을 타겟으로 한 콘텐츠에서는 덤벨을 가슴 쪽으로 들어 올릴 때 대흉근의 근전도 신호가 주기적으로 강하게 나타나, 대흉근의 활성화와 강화에 효과적인 운동임을 보여주었다. 마지막으로, 광배근을 집중적으로 자극하는 콘텐츠에서는 덤벨을 등 뒤로 끌어내리는 동작에서 광배근의 근전도 신호가 높은 활성화를 보였으며, 이는 상지의 회전 동작과 관련된 기능 향상에 기여할 수 있음을 나타낸다.

이러한 결과들을 종합하면, Smart Dumbbell과 그에 맞춘 다양한 운동 콘텐츠가 각각의 표적 근육군을 효과적으로 활성화하여 상지 근력 강화를 위한 중재 방법으로서 적합함을 입증하였다.

IV. 논 의

본 연구에서는 Smart Dumbbell 기반의 상지 운동을 모니터링 할 수 있는 새로운 시스템을 제안하였다. IMU 센서와 로드셀을 활용하여 상지 운동 중 발생하는 다양한 운동 데이터를 실시간으로 측정 및 분석할 수 있는 Smart Dumbbell을 개발하였으며, 이를 사용하는 동안 수집된 데이터를 바탕으로 사용자 친화적인 모니터링 서비스를 설계하였다. 먼저 Handgrip Strength Test와 Arm Curl Test를 전산화하여 근감소증 진단에 활용되는 주요 검사를 간편하게 수행할 수 있도록 하였고, 이를 통해 평가된 상지 근력을 바탕으로 개인 맞춤형 상지 근육 강화 운동 콘텐츠를 추천하는 시스템을 개발하였다. 또한 사용자의 운동 이력과 근력 변화 추이를 효율적이고 객관적으로 파악할 수 있도록 결과를 시각화하였다.

Smart Dumbbell은 기존 덤벨과 비교했을 때, 덤벨과 로드셀을 결합하여 악력 측정과 상지 근력 운

동을 동시에 수행할 수 있는 통합 시스템이라는 점에서 큰 장점을 가지고 있다.

기존에는 악력 측정을 위해 별도의 악력계를 사용하고, 상지 근력 운동을 위해 덤벨을 사용하는 등 각각의 목적에 따라 다른 기구를 준비해야 하는 번거로움이 있었다. 그러나 Smart Dumbbell은 로드셀을 활용하여 덤벨을 통해 운동 뿐만 아니라 악력을 측정할 수 있어, 하나의 기구로 상지 근력 평가와 운동을 모두 수행할 수 있기에 사용자의 편의성을 크게 높일 수 있다. 또한, Smart Dumbbell은 무게 조절이 가능하다는 점에서도 기존 덤벨과 차별화된다. 사용자는 자신의 근력 수준에 맞게 덤벨의 무게를 조절함으로써 최적의 운동 강도를 설정할 수 있다. 이는 개인의 상지 근력 상태에 따른 맞춤형 운동을 가능하게 하며, 점진적 부하 증가를 통한 효과적인 근력 강화에도 도움이 될 수 있다.

이러한 무게 조절 기능은 특히 상대적으로 근력이 약한 고령자와 같은 사용자들에게 유용할 것으로 예상된다. 본 연구에서 사용된 로드셀은 높은 정밀도와 낮은 오차율을 가지고 있어, 사용자의 악력을 정확하게 측정할 수 있다. 이것은 아날로그 방식의 기존 악력계에 비해 데이터의 정량화와 객관화가 용이하다는 장점으로 이어진다.

이를 통해 본 시스템은 사용자의 상지 근력을 보다 신뢰성 있게 평가할 수 있게 되었다.

또한, 로드셀을 통해 수집된 정량적 데이터는 사용자의 근력 변화 추이를 정확히 파악하고 시각화하는 데에도 활용될 수 있어, 기존 연구의 한계점을 극복하고 시스템의 성능을 한층 향상시킬 수 있었다.

본 연구에서 개발한 Smart Dumbbell은 실제 덤벨을 활용한 저항 운동 콘텐츠와의 통합이라는 점에서 기존 연구들과 차별화된다. 지금까지 대부분의 덤벨 기반 운동 콘텐츠는 실제 덤벨과 연동되지 않은 채 스마트폰 앱이나 영상을 통해 제공되었기 때문에, 사용자의 운동 상태를 모니터링하고 피드백을 제공하는 데 한계가 있었다.

그러나 본 연구에서는 Smart Dumbbell과 연동되는 저항 운동 콘텐츠를 직접 개발하여, 사용자의 운동 데이터를 실시간으로 수집 및 분석하고, 적절한 피드백을 제공할 수 있는 환경을 구축하였다. 특히, 개발된 운동 콘텐츠는 상지 근력 측정 단계에서 평

가된 사용자의 근력 수준을 바탕으로 적응적인 난이도 조절과 함께, 사용자들이 재미있고 지속 가능한 방식으로 운동에 참여할 수 있도록 구현하였다.

마지막으로, 본 연구에서는 Smart Dumbbell을 통해 수집된 사용자의 운동 데이터를 효과적으로 시각화하여 제공함으로써, 사용자가 자신의 상지 근력 상태와 운동 이력을 손쉽게 모니터링할 수 있도록 하였다. 기존의 덤벨 운동은 사용자의 운동 데이터 측정과 트래킹이 어려워 사용자가 자신의 운동 성과를 파악하기 힘들었다.

이를 해결하기 위해 본 연구에서 개발한 시스템은 사용자의 악력, Arm Curl 횟수 등 주요 상지 근력 지표를 정량적으로 측정하고, 이를 직관적인 그래프와 차트로 시각화하여 제공하였다. 이를 통해 사용자는 자신의 상지 근력 수준과 변화 추이를 한눈에 파악할 수 있고, 운동의 효과를 객관적으로 확인할 수 있다. 이러한 데이터 기반 피드백은 사용자가 보다 능동적이고 적극적으로 운동에 참여할 수 있는 환경 조성에 기여할 수 있다. 결과적으로, 본 연구에서 제안하는 운동 데이터 시각화 방안은 사용자 스스로 자신의 상지 근력을 효과적으로 관리하고, 장기적인 운동 습관을 형성하는 데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 현 시스템에는 몇 가지 한계점이 있다. 첫 번째로 본 연구에서 개발된 시스템은 상지 근력 강화에 초점을 맞추고 있어, 전신의 균형 잡힌 근력 강화에는 한계가 있다. 노화로 인한 근감소는 상지와 하지 모두에서 발생하는데, 하지 근력 약화는 보행 능력 저하와 낙상 위험 증가를 초래할 수 있다. 따라서 고령자 근감소증을 효과적으로 예방하고 관리하기 위해서는 상지 운동과 더불어 하지 근육을 강화할 수 있는 운동 프로그램이 병행되어야 할 것이다.

이러한 한계점을 보완하기 위해, 향후 연구에서는 SARC-F와 같은 포괄적인 근감소증 평가 도구를 활용하여 사용자의 전반적인 신체 기능을 평가하고, 그 결과를 바탕으로 상지 외에도 하지와 체간 근력 강화를 위한 운동 콘텐츠를 제공할 필요가 있다. SARC-F는 근력(Strength), 보행 보조(Assistance with walking), 의자에서 일어나기(Rise from a chair), 계단 오르기(Climb stairs), 낙상(Falls) 등 5가지 항목을 통해 고령자의 신체 기능을 종합적으로 평가할 수 있

는 도구로서, Smart Dumbbell 시스템에 SARC-F를 접목한다면 사용자의 상지 근력뿐만 아니라 전신의 근력 및 기능 상태를 파악하고, 이를 기반으로 맞춤형 운동 프로그램을 제공할 수 있을 것이다[25]. 이를 통해 Smart Dumbbell 시스템은 단순히 상지 근력 강화를 넘어, 고령자 근감소증 전반을 관리할 수 있는 통합 솔루션으로 발전할 수 있을 것으로 기대된다.

둘째, 현 시스템은 사용자 개인의 근력 수준을 고려하지 않고, 모든 이에게 동일한 운동 콘텐츠를 제공하고 있다는 한계가 있다. 노화로 인한 근감소증은 개인별로 그 진행 속도와 정도가 상이할 수 있으며, 특히 상지 근육의 경우 일상생활에서의 사용 패턴에 따라 부위별 근력 차이가 크게 나타날 수 있다. 이를 해결하기 위해, 향후 시스템 개발에서는 초기 평가를 통해 각 사용자의 근력 수준과 특성을 파악하고, 이를 바탕으로 개인 맞춤형 운동 프로그램을 제공할 필요가 있다. 이를 통해 사용자는 자신의 현재 상태에 맞는 적절한 운동 강도와 유형을 수행할 수 있게 되어, 더욱 효과적인 근력 강화를 도모할 수 있을 것이다.

마지막으로, 현재 시스템에서는 사용자의 운동 수행 자세나 동작의 정확성을 평가하고 이에 대한 피드백을 제공하는 기능이 부재하다. 운동의 효과와 안전성을 담보하기 위해서는 올바른 자세와 적절한 강도로 운동을 수행하는 것이 매우 중요하다.

특히 고령자의 경우 잘못된 자세로 인해 운동 중 부상을 입거나 과도한 강도로 인해 오히려 근손실이 가속화될 위험이 있다. 따라서 추후 시스템 개선 단계에서는 카메라 등을 활용하여 사용자의 운동 자세를 실시간 모니터링하고, 자세가 부적절하거나 운동 강도가 과도할 경우 이를 알려주는 피드백 기능을 제공할 필요가 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 고령자의 상지 근력 강화를 위한 Smart Dumbbell 기반의 운동 서비스 플랫폼을 제안하였다. 본 시스템은 로드셀과 IMU 센서를 결합하여 악력 측정과 상지 근력 운동을 하나의 기기로 통합하였으며, 무게 조절 기능을 통해 개인 맞춤형 운동이 가능하도록 하였다는 점에서 기존 방법들과

차별화된 장점을 가지고 있다. 또한, 게임 요소를 적용한 흥미로운 저항 운동 콘텐츠를 개발하여 사용자의 운동 참여도와 지속성을 높였으며, 운동 데이터의 직관적인 시각화를 통해 사용자 스스로 상지 근력을 모니터링하고 관리할 수 있도록 구현하였다. 이러한 특징들을 통해 본 시스템은 고령자들의 상지 근력 강화에 실질적인 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 본 연구에서 제안한 Smart Dumbbell 시스템은 고령자뿐만 아니라 다양한 연령층과 환자군에게도 활용될 수 있다는 점에서 폭넓은 적용 가능성을 가지고 있다. 특히 아동 및 청소년기의 적절한 근력운동은 골 강도 증가, 골격 형성 및 근력 강화 등에 도움을 줄 수 있으며, 낭포성 섬유증이나 뇌성마비를 가진 소아 환자, 소아 화상 피해자의 기능 개선에도 도움이 될 수 있다고 알려져 있다.[26-27]. 따라서 본 연구의 시스템이 노인 건강 관리뿐만 아니라 다양한 연령층과 환자군에서도 건강 증진을 위한 운동 방법으로 기여할 수 있을 것이다.

그러나 현재 시스템은 상지 근력에 집중되어 있어 전신 근력 관리에는 한계가 있으며, 개인의 근력 수준을 반영한 맞춤형 운동 처방 기능이 부족하다. 또한, 운동 자세나 강도에 대한 실시간 피드백 기능이 없어 운동의 효과와 안전성을 담보하기 어렵다. 그러므로 추후 연구에서는 SARC-F 등의 종합적인 근감소증 평가 도구를 활용하여 전신 근력을 아우르는 관리 시스템으로 발전시키고, 사용자 데이터 분석을 통한 맞춤형 운동 추천 알고리즘을 개발하며, 카메라 등을 활용한 자세 교정 피드백 기능을 추가하는 등의 지속적인 연구가 필요하다.

References

- [1] L. K. Chen, et al., "Asian Working Group for Sarcopenia: 2019 consensus update on sarcopenia diagnosis and treatment", *Journal of the American Medical Directors Association*, Vol. 21, No. 3, pp. 300-307, Mar. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2019.12.012>.
- [2] A. J. Cruz-Jentoft, et al., "Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis",

- Age and ageing, Vol. 48, No. 1, pp. 16-31, Jan. 2019. <https://doi.org/10.1093/ageing/afy169>.
- [3] A. Tournadre, G. Vial, F. Capel, M. Soubrier, and Y. Boirie, "Sarcopenia", *Joint Bone Spine*, Vol. 86, No. 3, pp. 309-314, May 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2018.08.001>.
- [4] L. Cao and J. E. Morley, "Sarcopenia is recognized as an independent condition by an International Classification of Disease, Tenth Revision, Clinical Modification (ICD-10-CM) code", *Journal of the American Medical Directors Association*, Vol. 17, No. 8, pp. 675-677, Aug. 2016.
- [5] W. S. Jung and M. G. Lee, "Effects of a 12-week circuit training on daily living fitness, isokinetic function, and biochemical property of muscle in sarcopenia elderly women", *The Korean Journal of Physical Education*, Vol. 56, No. 5, pp. 679-691, 2017.
- [6] S. W. Chun and S. K. Shin, "Changes in 16 weeks type and frequency of low-intensity exercise on senior fitness test in sarcopenic obesity elderly women", *Korean Journal of Growth and Development*, Vol. 27, No. 1, pp. 35-41, 2019.
- [7] B. Strasser, M. Keinrad, P. Haber, and W. Schobersberger, "Efficacy of systematic endurance and resistance training on muscle strength and endurance performance in elderly adults: a randomized controlled trial", *Wiener klinische Wochenschrift*, Vol. 121, pp. 757-764, Jan. 2009. <https://doi.org/10.1007/s00508-009-1273-9>.
- [8] M. S. Fragala, et al., "Resistance training for older adults: position statement from the National Strength and Conditioning Association", *Journal of Strength & Conditioning Research*, Vol. 33, No. 8, pp. 2019-2032, Aug. 2019. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003230>.
- [9] N. Sousa, R. Mendes, G. Monteiroand, and C. Abrantes, "Progressive resistance strength training and the related injuries in older adults: the susceptibility of the shoulder", *Aging Clinical and Experimental Research*, Vol. 26, pp. 235-240, Jun. 2014. <https://doi.org/10.1007/s40520-013-0157-z>.
- [10] J.-Y. Baek, et al., "A Study on the Development of Auto Training System with Training Assistance and Training Information Monitoring", *Journal of the Korean Society of Industry Convergence*, Vol. 20, No. 4, pp. 333-338, Sep. 2017. <https://doi.org/10.21289/KSIC.2017.20.4.333>.
- [11] A. V. Soares, et al., "A serious game developed for physical rehabilitation of frail elderly", *European Research in Telemedicine/La Recherche Européenne en Télémedecine*, Vol. 5, No. 2, pp. 45-53, Jun. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.eurtel.2016.05.003>.
- [12] R. P. McGrath, W. J. Kraemer, S. A. Snih, and M. D. Peterson, "Handgrip strength and health in aging adults", *Sports medicine*, Vol. 48, pp. 1993-2000, Jun. 2018. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0952-y>.
- [13] J. M. Boadella, P. P. Kuijer, J. K. Sluiter, and M. H. Frings-Dresen, "Effect of self-selected handgrip position on maximal handgrip strength", *Archives of physical medicine and rehabilitation*, Vol. 86, No. 2, pp. 328-331, Feb. 2005. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2004.05.003>.
- [14] H.-S. Kang and S.-T. Chung, "Development of Grip Strength Training and Evaluation System of Hand Functions", *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol. 19, No. 3, pp. 611-617, Sep. 2009. <https://doi.org/10.5103/KJSB.2009.19.3.611>.
- [15] R. E. Rikli and C. J. Jones, "Senior fitness test manual", *Human kinetics*, 2013.
- [16] J. Opplert and N. Babault, "Acute effects of dynamic stretching on muscle flexibility and performance: an analysis of the current literature", *Sports Medicine*, Vol. 48, pp. 299-325, Feb. 2018. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0797-9>.
- [17] F. C. Reiser, J. L. O. Lira, B. M. A. Bonfim, S. J. A. S. Filho, B. G. Durante, and J. M. D. Cardoso, "Electromyography of dumbbell fly exercise using different planes and labile surfaces",

- Journal of Exercise Physiology Online, Vol. 20, No. 6, pp. 1-10, Dec. 2017.
- [18] F. P. Kendall, E. K. McCreary, P. G. Provance, M. M. Rodgers, and W. A. Romani, "Muscles Testing and Function With Posture and Pain", 5th edition, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2005.
- [19] T. E. Solstad, et al., "A comparison of muscle activation between barbell bench press and dumbbell flyes in resistance-trained males", Journal of Sports Science & Medicine, Vol. 19, No. 4, pp. 645-653, Nov. 2020.
- [20] S. H. Jenó and M. Varacallo, "Anatomy, back, latissimus dorsi", StatPearls [Internet], StatPearls Publishing, Mar. 2023. [accessed: Aug. 24, 2024].
- [21] J. M. Muyor, P. A. López-Miñarro, and F. Alacid, "Comparison of electromyographic activity during barbell pullover and straight arm pulldown exercises", Applied Sciences, Vol. 12, No. 21, pp. 11138, Nov. 2022. <https://doi.org/10.3390/app122111138>.
- [22] S. Hody, J.-L. Croisier, T. Bury, B. Rogister, and P. Leprince, "Eccentric muscle contractions: risks and benefits", Frontiers in Physiology, Vol. 10, May 2019. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00536>.
- [23] P. LaStayo, R. Marcus, L. Dibble, F. Frajacomó, and S. Lindstedt, "Eccentric exercise in rehabilitation: safety, feasibility, and application", Journal of Applied Physiology, Vol. 116, No. 11, pp. 1426-1434, Jun. 2014. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00008.2013>.
- [24] American College of Sports Medicine, "ACSM's resource manual for guidelines for exercise testing and prescription", Lippincott Williams & Wilkins, Dec. 2012.
- [25] T. K. Malmstrom and J. E. Morley, "SARC-F: a simple questionnaire to rapidly diagnose sarcopenia", Journal of the American Medical Directors Association, Vol. 14, No. 8, pp. 531-532, Aug. 2013.
- [26] D. G. Behm, A. D. Faigenbaum, B. Falk, and P. Klentrou, "Canadian Society for Exercise Physiology position paper: resistance training in children and adolescents", Applied physiology, nutrition, and metabolism, Vol. 33, No. 3, pp. 547-561, Apr. 2008. <https://doi.org/10.1139/H08-020>.
- [27] A. M. Myers, N. W. Beam, and J. D. Fakhoury, "Resistance training for children and adolescents", Translational pediatrics, Vol. 6, No. 3, pp. 137-143, Jul. 2017. <https://doi.org/10.21037%2Ftp.2017.04.01>.

저자소개

박 선 희 (Sunhee Park)



1991년 2월 : 동아대학교

사학과(학사)

2023년 2월 : 한국공학대학교

컴퓨터공학과(석사)

2023년 3월 ~ 현재 :

한국공학대학교 컴퓨터공학과
박사과정

2015년 1월 ~ 현재 : (주)리더스알앤디 대표

관심분야 : 디지털 헬스케어, 스마트 팩토리

권 구 민 (Goomin Kwon)



2024년 2월 : 한국공학대학교

컴퓨터공학과(공학사)

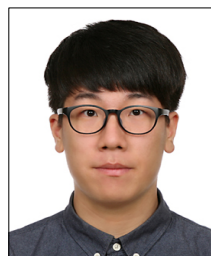
2024년 3월 ~ 현재 :

한국공학대학교

바이오헬스융합공학과 석사과정

관심분야 : 디지털 헬스케어, EEG,
인공지능(ML/DL)

김 상 규 (Sanggyu Kim)



2024년 2월 : 한국공학대학교

컴퓨터공학과(공학사)

2024년 3월 ~ 현재 :

한국공학대학교

바이오헬스융합공학과 석사과정

관심분야 : 디지털 헬스케어, EEG,
딥러닝

심 미 선 (Miseon Shim)



2011년 2월 : 연세대학교
의공학부(학사)

2013년 2월 : 한양대학교
생체의공학(석사)

2017년 2월 : 한양대학교
생체의공학(박사)

2023년 9월 ~ 현재 :

한국공학대학교 인공지능학과 조교수

관심분야 : 인공지능(ML/DL), 디지털 헬스케어, EEG,
BCI, 생체신호 및 영상처리

정 성 택 (Sungtaek Chung)



1992년 2월 : KAIST 전기 및
전자공학과(공학사)

1995년 2월 : KAIST 정보 및
통신공학과(공학석사)

2000년 2월 : KAIST 전기 및
전자공학과(공학박사)

2004년 3월 ~ 현재 :

한국공학대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야 : AI 의료 신호 및 영상처리 , AI 헬스케어
콘텐츠