

국민 건강관리 및 체력증진을 위한 스마트 1RM 시스템 개발 및 효과 검증에 관한 연구

Study on the Smart 1RM System Development and Effect Verification for Health Improvement and Management of National Healthcare

우경민*, 신미연, 유창호
K. M. Woo, M. Y. Shin, C. H. Yu

요 약

본 연구에서는 디지털 풀리 기술을 이용하여 다양한 운동 형태에서 정량적인 1RM 측정이 가능한 국민 건강관리 및 체력증진을 위한 스마트 1RM 시스템을 개발하고 이를 이용하여 훈련 시 그에 대한 효과를 검증하고자 하였다. 휴대용 근력 측정 장치, 블루투스 통신 기반 휴대폰 데이터 전송 및 회로도, 높낮이 조절이 가능한 시스템 몸체로 구성된 디지털 풀리 기반 스마트 1RM 측정시스템을 개발하였다. 피험자는 신체 건강한 20대 성인남녀 30명을 대상으로 15명씩 무작위로 개발된 시스템을 이용하여 훈련을 수행하는 그룹과 수행하지 않는 그룹으로 나뉘었다. 피험자는 스마트 1RM 시스템을 이용하여 팔꿈치, 요추, 무릎관절 신전/굴곡 운동을 10회씩 5세트를 수행하였고, 실험 기간은 주 3일, 총 8주간 진행되었다. 개발된 시스템에 대한 유효성 검증을 위해 주관절, 요추관절, 슬관절의 최대근력을 BIODEX System 3를 이용하여 측정하였고 운동 모드에 대한 유효성 검증을 위해 호흡가스분석을 평가하였다. 또한 개발된 1RM 시스템의 최대근력 평가 결과 값에 대한 유효성 검증을 위해 기존 검증된 시스템인 등속성 근기능 측정 모듈인 Biodex system3 결과 값과 비교 분석하였다. 실험결과, 훈련그룹에서 최대근력 증진 운동 전 후 주관절, 요추관절, 슬관절의 최대 근력이 유의하게 모두 증진되는 결과를 얻었다. 1RM 운동모드 중 산소섭취량은 근력강화 운동이 근지구력강화 운동 보다 약 10.91% 더 많은 산소소비량을 나타냈다. 또한 개발된 스마트 1RM 최대근력 측정 데이터에 대한 유효성을 검증하기 위해 기존 Biodex system3 데이터와 신뢰도분석을 실시한 결과, 신뢰도는 0.895(*p<0.00)로 매우 높은 신뢰 수준 일치하는 결과를 얻었다. 본 연구는 향후 국민 건강관리 및 체력증진을 보다 정량적으로 활용하고 또한 고령자나 재활환자들의 조기 재활치료에 적용 가능하다고 생각된다.

ABSTRACT

In this study, we developed a smart 1RM system for national health management and physical fitness, which enables quantitative 1RM measurement in various types of exercise using digital pulley technology, and to test the effect on training by using it. We developed the smart 1RM system, which is composed of portable muscle strength measuring device, Bluetooth communication based mobile phone data transmission and circuit diagram, and height adjustable system body. We recruited the 30 participants with 20th aged and divided into training and non-performing groups with 15 participants randomly. The participants performed 5 sets of elbow, lumbar, knee extension / flexion 10 times using smart 1RM system and the experimental period was 3 days a week for a total of 8 weeks. The experimental results showed that the maximum strength of the elbow, lumbar, and knee joints was significantly improved before and after maximal muscle strength training in the training group. Oxygen intakes during 1RM exercise mode showed 10.91% than endurance. To verify the validity of the smart 1RM maximal strength data, the reliability was 0.895 (* p < 0.00). This study can be applied to the early rehabilitation treatment of the elderly and rehabilitation patients more quantitatively using the national health care.

Keyword : Smart healthcare system, 1RM, Exercise estimation equipment, Smart estimation equipment, Digital pulley, Health management.

접 수 일 : 2018.02.23

심사완료일 : 2018.02.24

게재확정일 : 2018.02.28

* 우경민 : 전북대학교 융합기술공학과 박사과정

skiguy@naver.com (주저자)

신미연 : 전북대학교 융합기술공학과 학사과정

sinmy0324@naver.com (공동저자)

유창호 : 전북대학교 융합기술공학과 교수

goody0418@jbnu.ac.kr (교신저자)

1. 서론

최근 산업기술의 발전에 따라 생활의 질적 수준의 향상과 함께 의료 혜택이 증가하여 평균수명이 늘어나고 있다. 또한 인터넷의 발전으로 인해 정보 생활이 발전함에 따라 국민의 대다수가 건강의 중요성을 인식하게 되었다. 뿐만 아니라 산업의 기술이 발전함에 따라 사람들의 활동량은 줄어들고 식습관에 변화가 발생되었기 때문이다. 이로 인해 건강에 대한 관심이 증대되었으며 식품, 의류, 의료와 운동 산업 등이 많은 산업들이 발전을 하게 되었다. 식품산업은 웰빙(well-being) 열풍에 의한 천연 음식 산업이 발전하였으며 의류와 의료산업은 헬스케어(healthcare)란 화두 어를 통해 많은 제품들을 쏟아내고 있는 실정이다. 또한 20세기 한국에서 비만이라는 단어는 생소하였지만 21세기 가장 크게 대두됨에 따라 운동 열풍이 오게 되었다. 비만에 관한 연구는 선진국에서는 이미 오래전부터 사회적 문제로 자리 잡고 있었으며 현재에는 개발도상국까지 많은 연구가 진행되고 있었다. 국내 연구로 비만은 순발력, 유연성, 근력, 지구력 등을 저하시키며 신체 조성 기능을 악화시킨다고 알려져 있다. 또한 국외 연구에서 체중이 증가하면 심혈관질환이 발생하여 사망률이 증가한다고 보고[1]하였으며 비만이 당뇨, 뇌졸중, 암 질환을 야기하는 가장 위험한 독립인자라고 보고하였다[2, 3]. 국내에서도 비만이 사회적인 문제로 급부상하고 있다. 식습관이 서구화되며 컴퓨터를 이용한 사무업무에 의한 활동량감소에 의해 비만이 증가하고 있는 추세이며 사망원인의 30% 이상이 생활습관 병으로 인하여 발생되었으며 신체활동 부족 및 체력감퇴로 인한 각종 질병에 대한 의료비 증대는 개인뿐만 아니라 국가의 손실로 작용되고 있다[4]. 이로 인해 개인적, 국가적으로 건강에 대한 관심이 증대되고 운동열풍이 국내에서도 활발하게 일어났다. 20세기, 운동은 전문운동선수들이 생계를 위해 하는 직업성 활동이라고 인식되고 있었으나 21세기에 들어서 운동은 건강한 삶과 자신의 체력과 아름다움을 증진하기 위한 활동으로 바뀌었다. 운동이 미를 갖추는데 필수요소라고 말하는 경향은 여성에게서 크게 나타나고 있으며 자기 자신의 체형에 지나치게 비만 또는 과체중으로 평가하기 때문이다[5]. 이러한 인식의 변화로 많은 운동산업을 창출해 내었으며 국외뿐만 아니라 국내에서도 많은 업체들이 운동기기를 생산하고 있다[6].

건강에 대한 관심이 증대되는 추세에 맞춰 체계적인 운동처방에 대한 많은 연구들이 진행되고 있

다. 체계적인 운동처방을 위해 신체조성 및 체력검사가 요구되는데 신체구성이란 인간의 영양학적 상태를 결정해주는 중요한 요소이다[7, 8]. 이러한 신체구성은 활동량 부족이나 운동부족에 의해 인체생리학적 요소에 부정적인 변화를 초래하며 비만이나 성인병 같은 질병을 야기 시킨다. 기초체력은 사람이 움직이거나 일상생활을 하는데 요구되는 능력으로 정의되며 스포츠나 레저와 같은 운동이나 갑작스런 상황에 대응하는 능력을 뜻한다[9]. 체격과 체력은 운동 수행능력을 결정하는 중요한 요소라고 보고하였으며 이러한 정보는 개개인에게 운동효과를 증진시켜 주며 비만을 예방하거나 치료할 수 있는 다양한 정보를 제공해 줄 수 있다고 보고하였다[10-12]. 이러한 기초체력에 대한 중요성은 많은 연구되고 진행되고 있는 실정이다. 이미 여러 선진국에서 체력검사를 통해 소아 비만이나 청소년 비만에 대한 검사를 시행하고 있으며 현재 우리나라에서도 체력평가는 매우 중요하다고 보고하였다[13]. 다양한 운동종목의 선수를 대상으로 체력평가를 한 연구들은 많이 보고되었다[14, 15]. 또한 일반인을 대상으로 하여 체력평가를 실시한 연구들도 많이 진행되고 있는 실정이다. 이러한 체력요소 중 중요한 평가 항목으로 1RM(one-repetition maximum)이다. 1RM은 자신이 어떠한 운동에서 한번 시도로 들어 올릴 수 있는 최대 중량을 의미하여 최대근력으로 활용되고 있다. 1RM을 통해 근력과 근지구력 운동에 대한 처방에 기초 자료로 사용되고 있으며 운동 상해를 예방하고 효과적인 근력증진을 위해 가장 중요한 요인으로 평가된다. 하지만 기존 대부분은 1RM 측정 시 트레이너나 전문가의 주관적인 평가로 중량을 설정하여 운동처방을 제공하여 운동상해나 운동효과가 저조한 경우도 빈번히 발생되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 1RM을 정량적으로 측정 가능한 시스템 개발이 필요하지만 현재 전문한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 디지털 풀리(pulley) 기술을 이용하여 다양한 운동 형태에서 정량적인 1RM 측정이 가능한 국민 건강관리 및 체력증진을 위한 스마트 1RM 시스템을 개발하고 이를 이용하여 훈련 시 그에 대한 효과를 검증하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 휴대용 스마트 1RM 측정 시스템 구성

본 연구에서는 휴대용 근력 측정 장치, 블루투스

통신 기반 휴대폰 데이터 전송 및 회로도, 높낮이 조절이 가능한 시스템 몸체로 구성된 디지털 폴리 기반 휴대용 1RM 측정시스템(Smart 1RM healthcare system, Cybermedic, Co., Ltd., Korea)은 개발하였다(Fig.1). 첫 번째로 부하조절이 가능한 1RM 측정 장치는 전자식 부하조절 장치 및 방향성, 각도 검출을 위한 로터리 엔코더, 스프링와이어 및 기구물, 제어장치로 구성되어 개발하였다(Fig.2). 또한 부하조절을 하기 위해 전자식 클러치 부하조절 장치 개발하였다. 전자식 클러치는 코일에 전류를 흐르면 본판에 마그네트 되어 다른 판의 부하를 조절하는 원리를 이용하였다. 전자식 클러치 형태의 소형으로 제작하여 0.1kg 단위의 세밀한 부하 제어가 가능하고 최대 50kg까지 조절 가능한 부하조절 장치 개발하였다(Fig.3). 폴리 시스템의 회전 에 따른 줄의 움직임의 거리 및 방향성 검출을 위한 0.1도 간격의 정밀한 엔코더 장착하였으며 A상과 B상의 위상에 따른 방향을 검출한다. 또한 스프링 와이어 기구와 부하조절용 근력측정 컨트롤러를 개발하였다. 개발된 시스템의 전자식클러치는 전류의 세기를 조절하면 전자식의 원리로 부하를 조절이 가능하고 펄스 엔코더의 펄스수로 방향검출 및 이동거리를 알 수 있다. 전류메인 파워는 DC 24V이며 공급되는 전류제어부로 공급된다. 시스템 바디는 170cm 까지 블루투스 통신으로 높낮이가 조절 가능하도록 개발하였다.(Fig.4) Bluetooth는 수신모듈간의 데이터 간섭을 없애기 위해 10cm 간격만큼 공간확보 PCB 설계하여 적용하였고, Bluetooth4.1 통신규격 사용하였다.

2.2 피험자

본 연구에 참여한 피험자들은 과거 큰 골격계 관련 질환이나 사고 경험이 없는 피험자를 대상으로 전라북도체육회 스포츠과학센터에서 신체 건강한 20대 성인남녀 30명을 대상으로 실시하였다. 피험자들은 각 15명씩 무작위로 개발된 시스템을 이용하여



그림 1. 디지털 폴리 기반 휴대용 1RM 측정시스템
Fig. 1. The smart 1RM healthcare system for measuring maximal muscle strength(Smart 1RM healthcare system, Cybermedic, Co., Ltd., Korea)

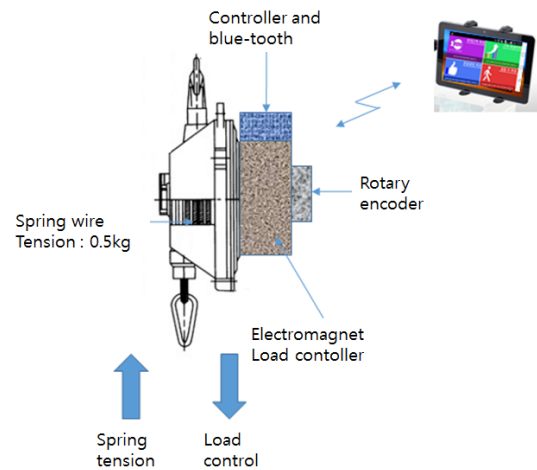


그림 2. 부하조절 근력측정 장치의 구성도
Fig. 2. The Configuration of load control muscle strength measuring device

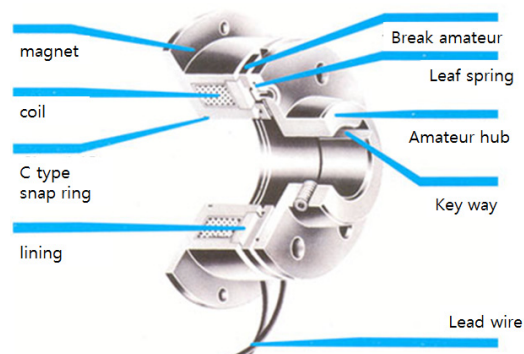


그림 3. 부하조절 전자식 클러치 장치 구성도
Fig. 3. Load control electronic clutch device configuration diagram

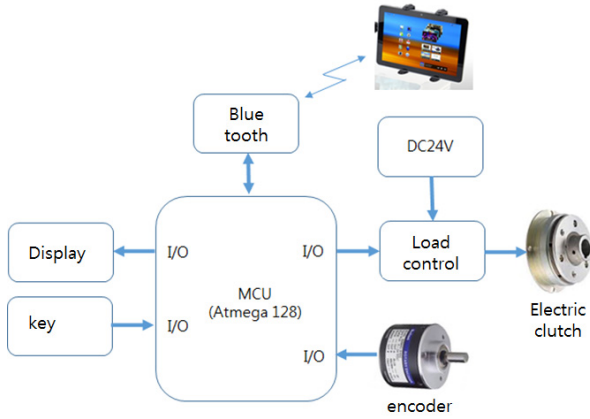


그림 4. 근력측정 컨트롤러의 구성도

Fig. 4 Smart 1RM measurement and control flowchart

훈련을 수행하는 그룹과 수행하지 않는 그룹으로 나뉘었다. 모든 피험자들은 운동관련 직업이나 취미 활동을 하지 않으며 주 1회 이하 운동시간을 갖는 일반인을 대상으로 하였으며 현재 약물이나 치료를 받지 않는 신체 건강한 성인 남녀를 선출하였다. 실험 측정오차를 줄이기 위해 실내온도를 18도로 동일하게 제공하였으며 측정 시에는 물을 제공하지 않았다. 또한 실험에 들어가기 전 모든 피험자들에게 본 실험의 목적과 활용에 대해 자세히 설명하였다. Table 1은 피험자들에 대한 정보를 나타내고 있다.

표 1. 피험자 정보

Table 1. The information of participants

	male	female
age	22.5±2.2 yr	20±1.5 yr
height	170±3.5 cm	160±2.5 cm
weight	70±2.5 kg	50±1.9 kg

2.3 실험방법 및 절차

본 연구에서 훈련군의 피험자는 개발된 스마트 1RM 시스템을 이용하여 팔꿈치 신전/굴곡운동, 요추 신전/굴곡 운동과 무릎관절 신전/굴곡 운동을 10 회씩 5세트를 수행하였다(Fig.5). 실험 기간은 주 3 일, 총 8주간 진행되었다. 근력 증진효과를 측정하기 위해 피험자들의 주관절, 요추관절, 슬관절의 최대근력을 BIODEX System 3 (biomedex medical systems, Inc., USA)을 이용하여 측정을 매 4주마다 실시하였다(Fig.6). 피험자들의 관절 토크 측정 시

프로토콜, 각속도, 측정범위 등은 훈련그룹과 대조 그룹에게 동일하게 적용되었다. 프로토콜은 각 관절마다 신전과 굴곡에 적용하였고 각속도는 60°/sec로 설정하였다. 또한 근력 측정을 위한 운동가동범위 (range of motion)는 60°로 설정하였다[16, 17]. 1RM 운동 전 후 최대근력과 근반응성 증진효과를 평가하기 위해 최대피크토크(maximal peak torque)와 평균파워(average power)를 평가 및 분석하였다. 최대 피크토크란 Biodex를 이용하여 관절의 신전/굴곡운동 시 관절이 내는 최대 회전력을 말한다. 즉, 관절의 신전과 굴곡 시 관련된 근육들에 의한 최대 회전력을 나타낸다. 평균파워는 위와 동일하게 슬관절 신전/굴곡운동을 연속적으로 5번 실시하는 동안 단위 시간 당 관절토크 값을 의미한다. 모든 피험자에게 동일한 ROM을 제공하였기 때문에 평균 파워는 근 수축 속도 값으로 평가 가능하다. 또한 개발된 1RM 시스템의 최대근력 평가 결과 값에 대한 유효성 검증을 위해 기존 검증된 시스템인 등속성 근 기능 측정 모듈인 Biodex system3 결과 값과 비교 분석하였다. 또한 개발된 시스템의 근력운동 모드와 근지구력 운동 모드에 대한 유효성 검증을 위해 Quark CPET.(COSMED) 장비를 사용하여 호흡가스분석을 실시 및 유산소성 운동효과를 평가하였다(Fig.7). 실험 및 평가 진행 중 실험환경에 따른 결과 오류를 최소화하기 위해 항상 일정한 24℃와 습도 50%를 유지하였다.

2.4 데이터 처리

본 연구에서는 디지털 폴리 기술 기반 스마트 1RM 시스템을 개발하고 이를 이용하여 훈련 시 그에 대한 효과를 검증하고자 하였고 이를 위해 등속성 관절토크 검사와 호흡가스분석을 실시하였다. 측정된 데이터들은 유의성 검증을 위해 SPSS 18.0 kor를 사용하여 주관절, 요추관절, 슬관절의 관절토크와 호흡가스분석 데이터들을 분석하였다. 관절의 피크토크(peak torque)와 근가속시간(acceleration time)에 대한 평균 및 표준편차를 산출하고 각 항목에 따른 측정시기(운동 전, 운동 4주 후 운동 8주 후)의 체력요소의 차이를 분석하기 위해 반복측정 분산분석(repeated measured ANOVA)을 실시하였다. 또한 근력운동과 근지구력 운동에 따른 유효성 확보를 위해 산소섭취량(VO2)과 호흡교환율(R) 데이터는 독립표본 t-검정을 통해 효과를 검증하였다. 개발한 스마트 1RM 근력 측정 데이터에 대한 유효성 검증을 위해 기존 상용화 시스템인 Biodex

system3을 이용하여 측정된 데이터와 ICC 검정 (intra-class correlation coefficient, Inter-observer correlation coefficient)을 실시하였다. 이때, 자료 분석의 통계적 유의수준은 유의성 수준은 $p < 0.05$ 에서 검증하였다.

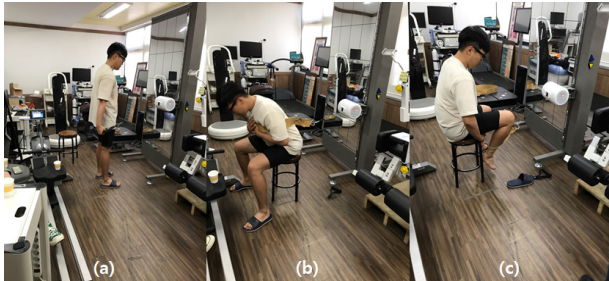


그림 5. 스마트 1RM 운동((a)상지운동, 체간운동, 하지운동)
 Fig. 5. Smart 1RM estimation and exercise((a) upper limbs exercise, (b) trunk exercise, (c) lower limbs exercise)



그림 6. 등속성 근 기능 평가((a)팔꿈치관절, (b)요추관절, (c)무릎관절)
 Fig. 6. The joint torque test for estimating muscle strength improvement((a) elbow joint, (b) lumbar exercise, (c) knee joint)



그림 7. 유산소기능 평가를 위한 호흡가스분석
 Fig. 7. The cardiopulmonary exercise test for estimating aerobic capacity exercise

3. 결과 및 고찰

3.1 1RM 운동 전 후 근력 및 근반응성 변화

실험결과, 훈련그룹에서 1RM 운동 후 주관절, 요추관절, 슬관절의 최대 근력이 모두 증진된 결과를 보였다. 주관절의 경우, 대조그룹은 운동 전 $32.7 \pm 2.1\text{Nm}$ 에서 운동 8 주 후 $35.1 \pm 3.6\text{Nm}$ 로 2.4% 증가하여 유사한 근력수준을 보였지만 훈련그룹에서는 운동 전 $33.1 \pm 3.1\text{Nm}$, 운동 4주 후 $40.5 \pm 4.2\text{Nm}$ (22.3%), 운동 8주 후 $50.9 \pm 1.5\text{Nm}$ 으로 증가하여 53.7% 수준의 근력 증진효과를 유의하게 나타냈다(Fig.8). 요추관절 결과에서도 주관절과 유사한 경향을 보여 대조그룹은 운동 전 후 약 1.7% 수준 증가하여 유사한 수준을 보였고, 훈련그룹에서는 운동 전 $223.9 \pm 10.7\text{Nm}$ 에서 운동 8주 후 $300.7 \pm 17.9\text{Nm}$ 수준까지 증가하여 약 34.3% 근력 증진효과를 보였다(Fig.9). 슬관절 최대 근력 결과에서도 대조그룹은 2.1% 수준으로 일정하게 근력이 유지되는 반면 대조그룹에서는 운동 전 $115.4 \pm 6.5\text{Nm}$ 에서 운동 8 주 후 $160.9 \pm 7.7\text{Nm}$ 수준으로 증가하여 약 39.4% 근력이 증가하는 경향을 유의하게 나타냈다(Fig.10). 이는 근 기능 강화운동이 근육의 근섬유 단위를 자극하여 근육을 긴장상태로 유지시키고, 근육을 활성화시켜 인체요추 근력을 증진시킨다는 것을 의미한다고 생각된다. 근 저항 운동효과로 점진적인 토크변화가 나타났으며, 운동 2주차에서는 큰 변화량을 나타내지 않았지만 4주에서는 관절토크의 증가가 크게 증가하는 경향을 보여 근 기능 강화 운동이 인체에 효과를 나타내는 최소 훈련자극 기간으로 4주의 운동기간이 요구된다고 판단된다.

근 반응성 결과에서도 최대 근력 결과와 유사하게 대조그룹보다 훈련 그룹에서 유의한 증가경향을 보였다. 주관절 결과, 대조그룹은 운동 전 후 1.2%의 유사한 수준을 보였지만 운동 4주 후 34.2% 증가, 운동 8주 후 75.3%로 가장 큰 증가 경향을 유의하게 나타냈다(Fig.11). 요추관절 결과, 대조그룹은 운동 전 후 1.7% 수준으로 유사한 수준을 보였지만 훈련그룹에서는 운동 4주 후 14.5% 증가, 운동 8주 후 30.2%로 유의한 증가 경향을 보였다(Fig.12). 슬관절 결과에서도 주관절과 요추관절 결과와 유사하게 훈련그룹에서 근반응성이 증가하는 결과를 보였다. 대조그룹은 운동 전 후 2.1% 수준으로 일정하게 유지되는 반면 훈련그룹은 운동 4주 후 14.7% 증가 운동 8주 후 39.4%로 크게 증가하는 유의한 결과를 나타냈다(Fig.13). 이는 근 기능 강화 운동 시 근 수

축 자극이 근섬유 속 근 신경을 지속적으로 자극하여 감각기관에 대한 근 수축/이완 반응성을 향상시켜 요추관절의 근 가속시간을 단축시키는 것으로 판단된다. 또한 상지운동 결과에서 가장 큰 증진효과를 보이는데 이는 케이블 풀리 타입의 운동이 다양한 운동방향성과 안정성을 제공하여 상지의 운동 자유도를 제공함에 따라 다양한 상지 근육이 지속적으로 자극되어 근 신경을 활성화를 유도시켜 가장 큰 증진효과를 나타냈다고 생각된다.

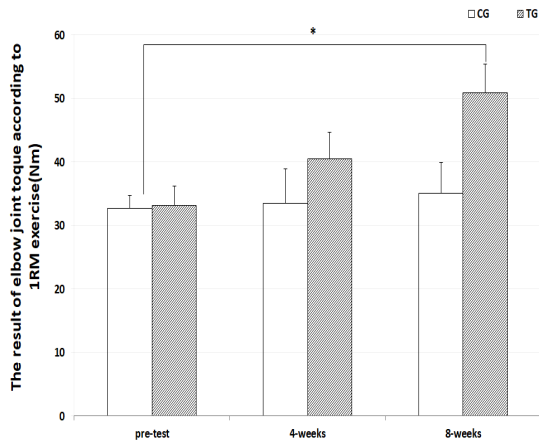


그림 8. 1RM 운동 전 후 팔꿈치 관절 토크변화
 Fig. 8. The result of elbow joint torque according to 1RM exercise(CG:Control Group without exercise, TG:Training Group with 1RM exercise, Mean±SD, *p<0.05)

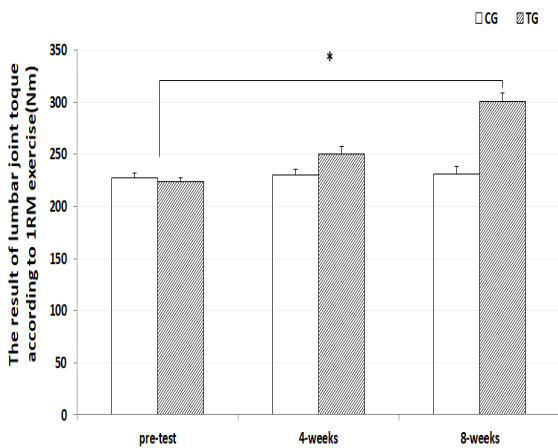


그림 9. 1RM 운동 전 후 요추 관절 토크변화
 Fig. 9. The result of lumbar joint torque according to 1RM exercise(CG:Control Group without exercise, TG:Training Group with 1RM exercise, Mean±SD, *p<0.05)

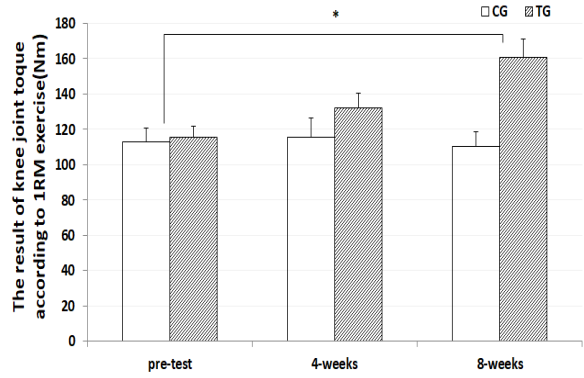


그림 10. 1RM 운동 전 후 무릎 관절 토크변화
 Fig. 10 The result of knee joint torque according to 1RM exercise(CG:Control Group without exercise, TG:Training Group with 1RM exercise, Mean±SD, *p<0.05)

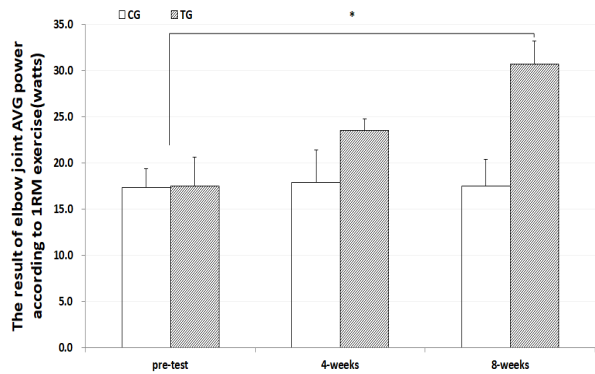


그림 11. 1RM 운동 전 후 팔꿈치 관절 평균파워
 Fig. 11 The result of elbow joint average power according to 1RM exercise(CG:Control Group without exercise, TG:Training Group with 1RM exercise, Mean±SD, *p<0.05)

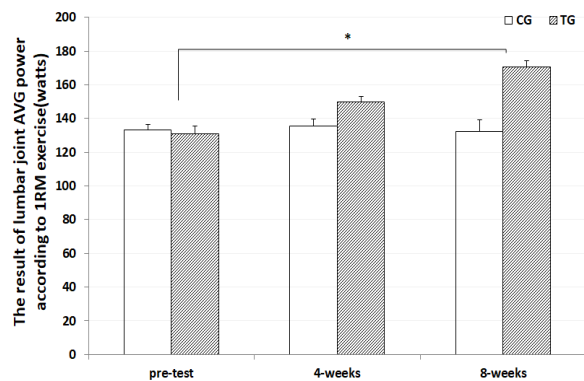


그림 12. 1RM 운동 전 후 요추 평균파워
 Fig. 12 The result of lumbar joint average power according to 1RM exercise(CG:Control Group without exercise, TG:Training Group with 1RM exercise, Mean±SD, *p<0.05)

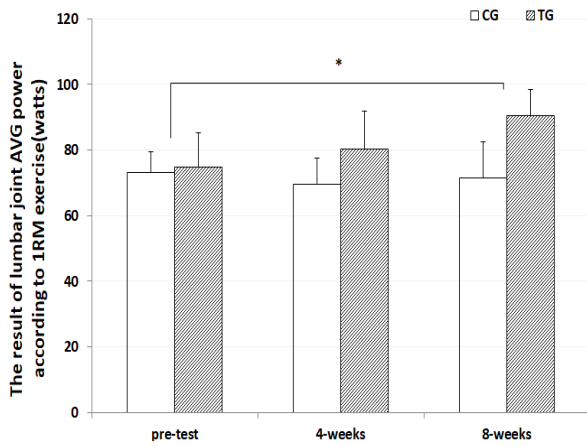


그림 13. 1RM 운동 전 후 무릎관절 평균과워
 Fig. 13 The result of knee joint average power according to 1RM exercise(CG:Control Group without exercise, TG:Training Group with 1RM exercise, Mean±SD, *p<0.05)

3.2 1RM 운동 형태에 따른 호흡가스분석 결과

본 연구에서는 개발된 스마트 1RM 시스템에서 제공되는 운동 형태에 따라 근력운동과 근지구력 운동 효과를 제공하는지 알아보고자 호흡가스분석을 실시하였다. 일반적으로 산소섭취량은 안정 시 및 운동 수행 시 필요한 에너지 생성을 위해 체내에서 이용하는 최대 산소섭취량을 의미하며 운동 수행 시 체내 에너지 생성 정도를 나타내는 지표로 사용되어 일정한 운동 강도에 대한 반응 지표로 적용한다. 최대로 운동을 수행할 때 최대 산소 섭취량이 높을수록 심폐기능이 우수하고 체격과 관련성이 높아 체중 1 Kg 당 산소 섭취량을 이용하여 상대적으로 평가 및 분석을 실시하였다. 실험결과, 스마트 1RM 운동모드 중 산소섭취량은 근력강화 운동 시 55.72 ± 7.55 ml/min/kg이고 근지구력강화 운동 시 50.25 ± 3.57 ml/min/kg으로 5.47 ± 5.12 ml/min/kg 차이를 보여 약 10.91% 더 많은 산소소비를 나타냈다(Fig.14). 이는 근력강화 운동은 최대 1RM의 70% 강도의 운동으로 인해 큰 비대 작용이 더 크게 발생되어 빠른 에너지 생산요구와 무산소성 에너지 대사 활동으로 더 많은 산소섭취량 결과를 발생시키고 근지구력 운동은 최대 1RM의 30% 강도의 운동으로 인해 적은 체내 에너지 요구 수준을 유도하였다고 판단되며, 이를 이용하여 사용자별 개인건강 운동 프로토콜 제공 시 체중감량 효과를 위한 운동

처방 프로토콜 개발이 가능하다고 생각된다. 또한 에너지 대사 결과를 통해 운동 시 사용되는 에너지원에 따른 운동효과를 분석하기 위해 호흡교환율을 평가 및 분석하였다. 호흡교환율은 운동 부하 검사 중 호기 시 이산화탄소의 양과 흡기 시 산소량의 비율(VCO₂/VO₂)로 인체에서 어떤 영양소(지방, 탄수화물 등)를 에너지원으로 사용했는지 확인 가능하여 운동 강도를 간접적으로 나타낸다. 또한 호흡교환율은 유산소성 에너지 대사에 대한 평가가 가능하고 0.7에 가까울수록 지방을 소비하고 1.0에 가까울수록 탄수화물 소비한다. 실험결과, 호흡교환율은 근지구력 운동 시 0.77 ± 0.05 이고 근력강화 운동 시 0.90 ± 0.07 로 나타나 약 16.89% 차이를 보였으며 이는 근지구력 운동 시 에너지대사 물질을 지방 소비를 더 크게 유도 가능하며 체중감량을 위한 유산소 운동으로 더 효율적으로 판단된다(Fig.15).

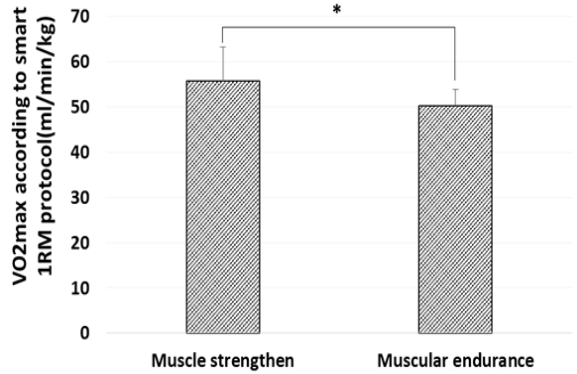


그림 14. 1RM 운동프로토콜별 VO₂max 결과
 Fig. 14 The result of VO₂max according to 1RM exercise protocol(Mean±SD, *p<0.05)

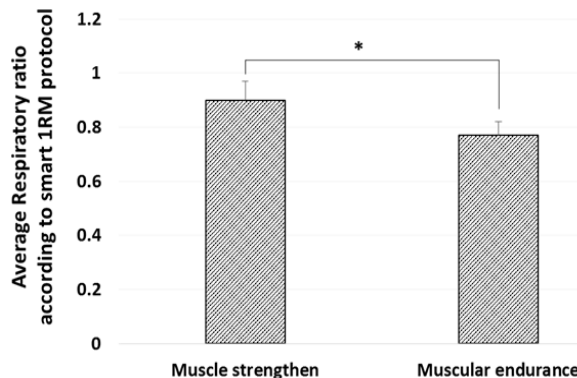


그림 15. 1RM 운동프로토콜별 VO₂max 결과
 Fig. 15 The result of average respiratory ratio according to 1RM exercise protocol(Mean±SD, *p<0.05)

3.3 1RM 시스템의 최대근력 측정 데이터 유효성 검증 결과

본 연구에서 개발한 스마트 1RM 최대근력 측정 데이터에 대한 유효성을 검증하기 위해 기존 검증되고 상용화된 등속성 근 기능 측정 모듈인 Biodex system3 데이터와 비교분석을 하였다. 이를 위해 신뢰도분석을 실시하였고 그 결과, 장비-관찰자 간, 내의 신뢰도는 average measures의 ICC는 0.895, 유의확률 = 0.000 으로 장비/관찰자간 시행한 측정이 매우 신뢰 수준 일치하는 결과를 얻었다(Table 2). 이는 두 장비의 최대근력 결과 값이 유사하다는 것을 의미하며 고가의 장비가 아닌 저가의 장비로 정확하고 정밀한 최대근력 데이터를 측정이 가능하다고 생각된다.

표 2. ICC 검정 결과

Table 2. The result of ICC

케이스 처리요약

		N	%
케이스	유효	500	100.0
	제외됨	0	.0
	합계	500	100.0

급내 상관계수

	급내 상관관계	95% 신뢰구간		실제 값 0(으)로 F 검정			
		하한 값	상한 값	값	df1	df2	유의 확률
단일 측정도	.890b	.875	.920	42.301	70	70	.000
평균 측정도	.895	.882	.935	42.301	70	70	.000

5. 결론

본 연구에서는 디지털 풀리(pulley) 기술을 이용하여 다양한 운동 형태에서 정량적인 1RM 측정이 가능한 국민 건강관리 및 체력증진을 위한 스마트 1RM 시스템을 개발하고 이를 이용하여 훈련 시 그

에 대한 효과를 검증하고자 하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 스마트 1RM 최대근력 증진 운동 전 후 주관절, 요추관절, 슬관절의 최대 근력이 유의하게 모두 증진되는 결과를 얻었다. 이는 1RM 최대근력 운동이 근육의 근섬유 단위를 자극하여 근육을 긴장상태로 유지시키고, 근육을 활성화시켜 인체요추근력을 증진시켰다. 또한 최대근력 강화를 위해서는 최소 훈련자극 기간으로 4주 이상의 운동기간이 요구된다고 판단된다. 근 반응성 결과에서도 최대 근력 결과와 유사하게 대조그룹보다 훈련 그룹에서 유의한 증가경향을 보였고 이는 1RM 최대근력 운동이 근 수축 자극 시 근섬유 속 근 신경을 지속적으로 자극하여 감각기관에 대한 근 수축/이완 반응성을 향상시켜 요추관절의 근 가속시간을 단축시키는 것으로 생각된다. 또한 상지운동 결과에서 가장 큰 증진효과를 보이는데 이는 케이블 풀리 타입의 운동이 다양한 운동방향성과 안정성을 제공하여 상지의 운동 자유도를 제공함에 따라 다양한 상지 근육이 지속적으로 자극되어 근 신경을 활성화를 유도시켜 가장 큰 증진효과를 나타냈다고 생각된다.

둘째, 스마트 1RM 운동모드 중 산소섭취량은 근력강화 운동이 근지구력강화 운동 보다 약 10.91% 더 많은 산소소비량을 나타냈으며 이는 근력강화 운동은 최대 1RM의 70% 강도의 운동으로 인해 근비대 작용이 더 크게 발생되어 빠른 에너지 생산요구와 무산소성 에너지대사 활동으로 더 많은 산소섭취량 결과를 발생시키고 근지구력 운동은 최대 1RM의 30% 강도의 운동으로 인해 적은 체내 에너지 요구 수준을 유도하였다고 판단된다. 근지구력 운동이 근력강화 운동 보다 약 16.89% 수준의 호흡교환율 차이를 보여 근지구력 운동이 에너지대사 물질을 지방소비를 더 크게 유도 가능하며 체중감량을 위한 유산소 운동으로 더 효율적으로 생각된다.

셋째, 본 연구에서 개발한 스마트 1RM 최대근력 측정 데이터에 대한 유효성을 검증하기 위해 기존 Biodex system3 데이터와 신뢰도분석을 실시하였고 그 결과, 장비-관찰자 간, 내의 신뢰도는 0.895(*p<0.00)로 매우 높은 신뢰 수준 일치하는 결과를 얻었다.

위 연구 결과, 다양한 운동 형태에서 정량적인 1RM 측정이 가능한 디지털 풀리 기반 스마트 1RM 시스템에 대한 측정 데이터 유효성과 운동 효과를 검증하였다. 본 연구 결과는 국민 건강관리 및 체력증진을 보다 정량적이고 활용하기 쉬운 시스템을 개발하였다고 생각된다. 또한 고령자나 재활환자들

의 조기 재활치료에 적용가능하고 또한 국외 고가의 장비가 아닌 국내 저가의 장비로 정확하고 정밀한 최대근력 데이터를 측정이 가능한 시스템으로 활용 가능하다고 생각된다.

REFERENCES

- [1] J. M. Yuhan, R. K. Ross, Y. T. Gao and M. C. Yun, "Body Weight and Mortality : A Prospective Evaluation in a Cohort of Middle-Aged Men in Shanghai, China," *International Journal of Epidemiology*, vol. 27, pp. 824-832, 1998.
- [2] D. Gu, J. He, X. Duan, K. Reynolds, X. Wu, J. Chen, G. Huang, C. S. Chen, and P. K. Whelton, "Body Weight and Mortality among Men and Women in China," *Journal of the American Medical Association*, vol. 295, no. 7, pp. 776-783, 2006.
- [3] A. A. Hedley, C. L. Ogden, C. L. Johnson, M. D. Carroll, L. R. Curtin and K. M. Flegal, "Prevalence of Overceght and Obesity among US Children, Adolescent, and Adult, 1999-2002," *Journal of the American Medical Association*, vol. 291, pp. 2847-2850, 2004.
- [4] Ministry of Culture, Sports and Tourism, "2007 Physical Fitness," 2007.
- [5] W. H. Felts and A. V. Parrillo, "Adolescents Relative Weight and Self-Reported Weight-Loss Activities : Analysis of 1990 YRBS National Data," *Journal of Adolescent Health*, vol. 18, pp. 20-26, 1996.
- [6] Ministry of Culture, Sports and Tourism, "2009 Technology Development of Sports Industry," 2009.
- [7] C. R. Garrido, B. J. Sirvent, L. M. Gonzalez, C. M. Martin and E. Roche "Correlation between Body Mass Indexand Body Composition in Elite Athletes," *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, vol. 49, no. 3, pp. 278-284, 2009.
- [8] G. G. Malowsaaris, N. K. Bergeles, K. G. Barwouka, I. A. Bayios, G. P. Nassis and M. D. Koskolou "Somatotype, Size and Body Composition of Competitive Female Volleyball Players," *Journal of Sports Science and Medicine*, vol. 11, no. 3, pp. 337-344, 2008.
- [9] S. D. Yoon, K. R. Jeong, S. Y. Kim and W. K. Cheon, "The Effects of Strength Training for 12 Weeks on Isokinetic Muscular Function, 1RM, Basic Physical Fitness and Body Composition of University Students," *The Korean Journal of Growth and Development*, vol. 18, no. 3, pp. 179-185, 2010.
- [10] C. Bouchard and R. J. Shephard, "Physical Activity, Fitness and Health : The Model and Key Concepts," Human Kinetics Publisher, 1994.
- [11] B. R. Carlson, P. Patterson, K. Patti, S. M. Orfanos and G. J. Nrral, "Physique and Motor Performance Characteristics of US National Rugby National Rugby Players," *Journal of Sports Sciences*, vol. 12, no. 4, pp. 403-412, 1994.
- [12] R. M. Malina, "Physical Activity: Relationship to Growth, Naturation, and Physical Fitness," *The Journal of Human Kinetics*, pp. 918-930, 1994.
- [13] S. J. Han, "Elementary School Students' Responses to the Health-Related Fitness Test," Graduate School of Gyeongin National University of Education Major in Elementary Physical Education, 2006.
- [14] Y. H. Son, Y. H. Seo and H. S. Ko, "Influence of Taekwondo Training of Elementary School Students on Body Composition and Basic Physical Strength by Grade," *The Korean Journal of Growth and Development*, vol 17, no. 2, pp. 57-63, 2009.
- [15] Y. J. Ko, M. K. Lee and S. A. Kong, "Body Composition, Physical Fitness, and Isokinetic Leg Strength According to Competition Level in Collegiate and High School Taekwondo," *Journal of Exercise Science*, vol. 16, no. 4, pp. 411-420, 2007.
- [16] S. R. Kang, K. Kim, G. Y. Jeong, D. A. Moon and T. K. Kwon, "Characteristic Analysis of Flexibility and Muscle Strength according to Exercise using Lumbar Strengthen Exercise Instrument," *Journal of Rehabilitation Welfare Engineering & Assistive Technology*, vol. 4, no. 1, 53-61, 2010.
- [17] S. R. Kang, U. R. Kim, G. U. Jeong, D. A. Moon and T. K. Kwon, "Analysis on the Flexibility and Muscle Function in Young Adults

Using Indoor Horseback Riding Machine,” Journal of Rehabilitation Welfare Engineering & Assistive Technology, vol. 11, no. 2, 115-124, 2017.

우 경 민(Kyung-Min Woo)



2017년 3월 - 현재 전북대학교
융합기술공학과 박사과정
2016년 2월 단국대학교 경영학과
졸업(석사)

Interest: Rehabilitation Engineering,
Biomechanics

신 미 연(Mi-Yeon Shin)



2018년 2월 전북대학교 융합기술
공학과 졸업 예정(학사)

Interest: Rehabilitation Engineering,
Biomechanics

유 창 호(Chang-Ho Yu)



2016년 4월 - 현재 전북대학교
융합기술공학과 조교수
2012년 4월 - 2016년 3월 전북대
학교 바이오메디컬공학부
연구교수
2012년 3월 일본 동북대학교 의
공학과 졸업(박사)

Interest: Rehabilitation Engineering,
Hemodynamics, Biomechanics,
Healthcare & Wellness devices,
Sport Science Biomechanics