

Development and Verification of Muscle Strength Effectiveness Based on Fitsig[®] (EMG Prototype)

Changjin Ji*, Yong-hyun Byun**, Sangho Kim***

*Assistant Professor, Dept. of Sports Rehabilitation, Tongmyong University, Busan, Korea

**Professor, Dept. of Sports Medicine, Dankook University, Cheon-An, Korea

***Professor, Dept. of Global Sports Studies, Korea University, Sejong, Korea

[Abstract]

With strength training comes the risk of injury and the benefits of exercise. Lack of knowledge and experience or repetitions at excessive intensity can lead to injury. Adequate feedback on an exercise's progress can increase the exercise's effectiveness and reduce injuries by providing scientific data and psychological motivation. This study aimed to validate EMG equipment and examine the effects of 8 weeks of biofeedback training with wireless electromyography. A correlation analysis between the Noraxon device and Fitsig[®] (EMG Prototype), a well-known instrument in the field of research, showed a moderate correlation. Statistically significant differences in humeral circumference, humeral muscle mass, and biceps and triceps strength were found between the left and right sides of the body over time, with no differences in the type of exercise. Feedback training with real-time EMG was found to be favorable for hypertrophic growth and strength improvement. Future studies should be conducted to investigate its application in sports activities further.

▶ **Key words:** Electromyography, EMG, Prototype, Real-time Biofeedback, Muscle hypertrophy, Ontact training, Home training

-
- First Author: Changjin Ji, Corresponding Author: Sangho Kim
 - *Changjin Ji (korswim014@gmail.com), Dept. of Sports Rehabilitation, Tongmyong University
 - **Yong-hyun Byun (byunyh@dankook.ac.kr), Dept. of Sports Medicine, Dankook University
 - ***Sangho Kim (ksh1905@korea.ac.kr), Dept. of Global Sports Studies, Korea University
 - Received: 2024. 04. 17, Revised: 2024. 05. 20, Accepted: 2024. 05. 20.

[요 약]

근력 트레이닝은 운동의 효과와 함께 부상의 위험도 함께 공존한다. 운동에 대한 지식과 경험이 부족하거나 과도한 운동 강도에서의 반복은 부상으로 이어질 수 있다. 운동 진행 중 과정에 대한 적절한 피드백은 과학적 데이터를 통한 운동 효과증대 및 부상의 감소는 물론 심리적 동기부여의 효과도 기대할 수 있다. 무선 근전도를 적용한 8주 동안의 바이오피드백 트레이닝의 적용에 따른 EMG(Electromyography) 장비 검증 및 운동 효과를 살펴보는 데 목적이 있다.

최근 3개월 이내 근골격계 진단을 받은 사람들을 제외하고 20대의 48명을 대상으로 4개의 그룹에 대해 8주간의 근전도 바이오피드백 트레이닝이 진행되었으며, 측정은 사전, 4주차, 8주차에 각각 실시되었다. 트레이닝 프로그램은 상지 근육을 강화하기 위한 것으로, 그룹별로 다른 운동이 시행되었다. 근전도 프로토타입인 Fitsig를 트레이닝 중에 사용하였고 근육의 변화를 확인하였다.

연구 분야에서 잘 알려진 Noraxon사의 제품과 Fitsig®(EMG, FS-100)의 상관성 분석 결과, 중등도 상관성이 나타났다. 상완골 둘레, 상완골 근육량, 상완 이두근과 상완 삼두근 근육은 좌우 모두 시공간 통계적으로 유의한 차이가 발생했으며, 운동 종류에 따른 차이는 발생하지 않았다. 실시간 근전도를 활용한 피드백 트레이닝은 근비대 성장 및 근력 향상에 긍정적인 것으로 나타났다.

▶ **주제어:** EMG, 근전도, 실시간 바이오피드백, 근비대, 온택트 트레이닝

I. Introduction

피트니스와 결합한 웨어러블 디바이스 제품을 다양하게 출시되고 있다. 수많은 정보통신기업에서 빠른 속도로 새로운 개념의 제품을 개발하고 있고 그 활용범위가 확대되고 있다. 2020년 웨어러블기기의 전 세계 시장규모는 126억 달러로 8,853만 개 판매량, 한국의 경우 4,896억 원에 해당하고 있다[1]. 모바일은 기존 문자와 같은 단순 기능에서 메일, 게임, 동영상, 웨어러블 연동 등 복합기능을 담은 기기로 변화하고 범위를 확대하여 건강 및 피트니스 관련된 활동량, 수면시간, 심박수, 칼로리 소모량, 혈류량, 산소포화도 등 다양한 정보가 클라우드에 저장되고 고객에 다양한 피드백을 제공하면서 관련 시장규모를 지속해서 성장시키고 있다[2]. 최근까지 인류를 혼란에 빠뜨린 코로나 팬데믹 발생 전후를 심박수 변이를 추적하여 코로나바이러스 감염대상자를 선별하는 보조적 장비 역할로서 그 기능을 수행했다[3-5]. 이렇게 모바일 기반으로 축적된 데이터는 앞으로 빅데이터 활용의 가치가 높으며 개인의 건강관리에 긍정적인 역할을 할 것으로 기대된다.

일과 삶의 균형을 중요시하는 최근 경향으로 스포츠 및 여가 생활에 관한 관심이 높아진 가운데 코로나바이러스 감염을 피하고자 홈트레이닝, Home Exercise, 건강 관련 검색어가 최근 5년 사이에 4배가량 증가하며 Ontact를 통한 트레이닝은 Youtube 콘텐츠, 홈트레이닝/화상, e-sports, 운동 앱, VR/AR 관련된 시뮬레이터 순서로 활

용도가 높게 나타났다[6-7]. 꾸준한 신체활동은 면역력 강화, 만성질환 예방, 체력 향상 등 다양한 긍정적 요인을 활성화할 수 있다[8]. 뉴노멀 시대 스포츠 비대면 산업은 언택트 상황을 맞이하면서 적합한 다양한 콘텐츠 개발과 트레이닝에 필요한 장비 개발을 가속화하고 있다.

자가 트레이닝은 운동 강도의 조절 및 피드백의 제한이 따르고 잘못된 자세의 운동 반복은 부상으로 이어질 수 있다. 부상 방지를 예방하기 위해서 유연성 및 체력 향상과 적절한 운동시간과 운동부하량 조절을 통해 근육 불균형을 최소화해야 한다[9-11]. 근전도(EMG: Electromyography) 바이오피드백은 재활 운동에서 신경근 활성을 통해 근수축 타이밍 변화 및 스포츠의 경기 관련 퍼포먼스 향상을 위해 많이 사용해 왔다[12-14]. 모바일과 결합한 실시간 근전도는 편리성과 접근성을 향상시키고 비전문가가 활용하기 쉬운 앱도 함께 발전하고 있다[15,16]. 그동안 근전도는 병원 또는 스포츠 관련 실험실에서 근 성장 촉진, 근육 불균형 및 피로도 등 신체 이상 여부를 확인하기 위해 활용되어왔고 고가의 장비로 재활 및 연구 장비로 전문가들 위주로 활용되어왔다. 이러한 진입 장벽이 높은 이유로 장비의 기능과 장점과 비교해 범용성이 높지 않았다. 온택트 트레이닝 시장의 확장으로 수요 충족을 위해 일반인들도 쉽게 접근할 수 있고 사용의 어려움이 없는 직관적인 앱 개발과 가격 경쟁력이 뒷받침되어야 한다.

최근, 근전도 기술 개발은 휴대성 향상을 위해 장비의 경량화와 함께 기능 변화에 초점이 맞춰져 있다. 바이오피드백 트레이닝은 다양한 센서들과 결합하여 복합적으로 기술적 발전하고 있다[17]. 그동안 실시간 근전도 데이터를 활용하는 방법들이 스포츠의 특정 동작에서 제한된 움직임을 살펴보거나 재활의 목적으로 한정된 범위만 살펴봤다[18]. 일반인들이 쉽게 구매하거나 사용할 수 있는 과학적인 실시간 피드백 방법이 부재하고 그동안 이러한 수요를 충족시킬만한 장비가 부재하였다. 본 연구에서는 새롭게 개발된 앱 기반 근전도 하드웨어를 통한 트레이닝의 효과를 분석하기 위함이다.

비대면 트레이닝 시장의 확장성은 잠재적인 수요층과 함께 시간 및 공간의 제약이 없는 장점이 있지만 잘못된 트레이닝 방법을 통해 부상을 위험을 최소화하는 것도 중요하다. 따라서, 본 연구에서는 기존 EMG 장비와 실시간 무선근전도(EMG Prototype)의 신뢰성을 살펴보기 위해 상완이두근, 상완삼두근의 최대근력 및 평균 근력 상관성 분석을 진행하였으며, 8주간 실시간 무선근전도 활용도 구별 피드백 트레이닝이 상완이두근, 상완삼두근의 둘레 및 근육량에 어떠한 변화를 촉진하는지 살펴보고자 한다.

II. Methods

1. Subjects

실험 참가자 모집은 20대 이상 성인 남녀로 SNS 혹은 교내 공고문을 부착하여 실험 참여 의사를 밝힌 대상자 중 3개월 이내 근골격계 관련 진단을 받거나 기저질환(고혈압, 당뇨병 등)이 있는 자는 실험대상자에게 제외하였다. 연구 대상자 표본 수는 표본크기 산출 프로그램인 G-Power 3.1.7 프로그램을 이용하여 산출하였고, 유의수준 .05, 검정력(power) .95, 효과크기(effect size) .24, repeated measures ANOVA, within-between interaction으로 적용(Cohen, 1988)하여 적정 대상자 수 44명으로 나타났으나 중도 탈락율 10%를 고려하여 최종적으로 48명을 대상으로 실험을 진행하였다.

연구 대상자의 신체적 특징은 <Table 1>이며, 4개 그룹(덤벨 운동그룹(Dumbbell Training Group, DTG), 덤벨-근전도 운동그룹(Dumbbell Training with EMG Group, DTEG), 맨몸-근전도 운동그룹(Bodyweight Training with EMG Group, BTEG), 밴드-근전도 운동그룹(Resistance-band Training with EMG Group, RTEG) 별 12명씩 무작위로 배정하였다. 8주간의 실시간 근전도 바이오피드백 트레이닝 기간 동안 실험참여자 중 DTEG 1

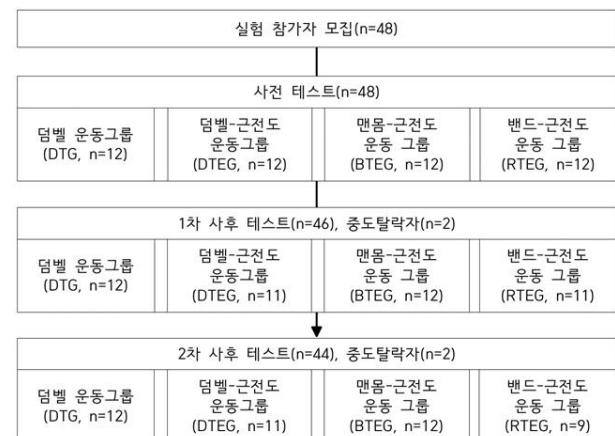
명, RTEG 3명이 자발적 중도 포기 의사를 밝혀, 총 4명 제외되어 최종 참여자는 44명이었다<Table 2>.

Table 1. Characteristics of the Subjects

Group (n)	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m ²)
DTG (n=12)	22.2±2.3	175.8±10.1	70.3±13.0	22.5±2.5
DTEG (n=11)	23.5±2.4	170.5±6.1	71.7±10.2	24.6±2.9
BTEG (n=12)	23.1±2.9	173.4±6.8	71.2±11.4	23.5±2.8
RTEG (n=9)	22.6±2.8	169.6±8.0	66.7±10.2	23.0±2.4

Mean±SD, BMI: Body Mass Index, DTG: Dumbbell Training Group, DTEG: Dumbbell Training with EMG Group, BTEG: Body-weight Training with EMG Group, RTEG: Resistance-band Training with EMG Group

Table 2. Experiment Design



2. Protocol

본 연구에서 시행한 상지 트레이닝은 프로그램 구성 윗업-본 운동-쿨다운 순서로 진행하였다. 윗업과 쿨다운은 각각 5~10분 정도로 구성하였으며, 본 운동은 상지 근육의 근 비대 및 근력 강화를 위하여 50분으로 구성하였다. 그룹별 편측운동 프로그램은 <Table 3>와 같다.

주운동(3개 동작)과 보조 운동(2개 동작)으로 총 4세트(휴식 시간 1분)*10RM(75%) 8주 동안 실시하였으며, 운동 동작이 실패하는 시점은 무너지는 것을 기준으로 하는 반복 불능으로 진행하였다. 온택트 트레이닝 참여는 오전(7:00~8:00)과 오후(6:00~7:00) 중 연구 참여자가 편한 시간을 선택하여 Zoom을 활용한 비대면으로 주 3회(월, 수, 금), 약 1시간 동안 실시하였다.

본 연구에서 운동 프로그램을 시행하는 동안 DTG 그룹을 제외한 나머지 3개의 그룹(DTEG, BTEG, RTEG)은 근전도 개발 장비인 Fitsig를 실험참여자에게 1개씩 배부하

여 운동 중 사용하였으며 Fitsig 장비의 상완 이두근(위팔 두갈래근, Biceps brachii) 부착 모양은 <Fig. 1>와 같다.



Fig. 1. Fitsig Device

Fitsig 장치는 블루투스로 스마트폰의 앱과 연동하여 근 자극 정도를 실시간으로 파악할 수 있으며, 측정 부위 선택과 운동 시 근전도 바이오피드백 표시는 <Fig. 2>와 같다. 근력 운동량, 근 피로도 등의 결과 데이터를 앱에서 살펴볼 수 있다. 실험 기간에는 이 프로그램 외에 다른 근력 운동은 하지 않도록 권고하였으며, 근 성장을 방해하는 음주와 흡연은 통제하였다.



Fig. 2. Fitsig App Interface



Fig. 3. FitsigApp Report

3. Measurement

측정 데이터 신뢰성을 위하여 책임연구자의 지도하에 임상경험 10년 이상 및 관련 연구 경험이 있는 선임연구원 한 명이 진행하였으며, 코로나 상황에 진행된 연구로써 밀집인원을 최소화하기 위해 보조인원 2명은 교대로 활동하면서 정보 입력 등 연구 보조 업무를 진행하였다. 8주 동안 4개 그룹 트레이닝 변화량을 살펴보기 위하여 사전 테스트, 4주차 테스트, 8주차 테스트 총 3회를 실시하였다.

Table 3. Unilateral Training Program

	Hori. Pull	Hori. Push	Knee Dom.	Hip Dom.	Vertical Push
DTG, DTEG	One arm Dum. row	One arm bench press	Dum. split squat	Dum. one leg dead lift	One arm Dum. shoulder press
BTEG	One arm inverted row	One hand push up	Split squat	One leg dead lift	One hand pike push up
RTEG	One arm band row	One arm band bench press	Band split squat	Band one leg dead lift	Band one arm shoulder press

Hori.: Horizontal, Dom: Dominant, Dum.: Dumbbell, DTG: Dumbbell Training Group, DTEG: Dumbbell Training with EMG Group, BTEG: Body-weight Training with EMG Group, RTEG: Resistance-band Training with EMG Group

근비대 변화를 살펴보기 위하여 다음과 같이 2가지 방법을 실시하였다. 첫째, 실험참여자는 장골능 위에 손을 얹어 놓고 상완골 중간 부위 둘레를 측정하기 위해 줄자를 활용하여 측정하였다. 둘째, 체성분 분석기(Inbody 720)를 활용한 부위별 근육 분석 및 신체 변화 요인 중 본 실험에서는 부위별 근육량(kg) 분석을 활용하여 오른팔과 왼팔 분석하였다.

3.1 Muscle Strength

근력 개선 정도를 살펴보기 위해 바이오텍스 장비를 활용하여 총 4부위(왼쪽 상완이두근, 오른쪽 상완이두근, 왼쪽 상완삼두근, 오른쪽 상완삼두근)에 등척성 최대 근 수축력을 측정하였다. 측정은 최대 힘을 내기 쉬운 관절의 중간범위(75°)에서 5초간 최대 근수축 후 휴식 시간 5초 각각 총 5회 반복하였으며, 측정 모습은 <Fig. 3>와 같다.

3.2 Muscle Activity

등척성 최대 근수축 측정 하는 동안 근활성도를 살펴보기 위하여 Norxon EMG와 Fitsig EMG를 같은 근육에 부착하여 근활성도를 비교하였으며, <Fig. 4>와 같다.



Fig. 4. EMG Test

4. Statistical analysis

본 연구에서 실시간 바이오피드백 효과 확인을 위해 5 초 등척성 수축 동안 EMG 장비인 Noraxon과 Fitsig장비 상관성을 살펴보기 위하여, Sperman의 등위상관분석을 실시하였다. 8주간 편측 트레이닝을 통한 근비대 및 근력 변화를 살펴보기 위하여, 이원배치 반복측정 분산 분석 (Two-way repeated masures ANOVA)을 실시하였으며, 사후분석은 Bonferroni 방법을 사용하였다. 본 연구의 통계 분석을 위해 SPSS 25(SPSS, Inc., USA)을 이용하였으며, 통계적 유의수준은 $p<.05$ 로 설정하였다.

III. Results

1. Correlation analysis of EMG Device (Noraxon, Fitsig®)

오른쪽 상완 삼두근과 상완 이두근의 근수축 동안 EMG 장비 근활성도의 상관성 분석은 <Table 4>와 같다. 오른쪽 상완 삼두근의 최대근력과 평균 근력에서 중등도 상관성이 각각 나타났다($p<0.01$), ($p<0.01$).

Table 4. The correlation Right Arm(biceps, triceps) between Noraxon and Fitsig

EMG	Part	Noraxon				Fitsig			
		Rt. PTQ Tri	Rt. Avg Tri	Rt. PTQ Bi	Rt. Avg Bi	Rt. PTQ Tri	Rt. Avg Tri	Rt. PTQ Bi	Rt. Avg Bi
N o r a x o n	Rt. PTQ Tri	1							
	Rt. Avg Tri	.963**	1						
	Rt. PTQ Bi	.427**	.440**	1					
	Rt. Avg Bi	.462**	.471**	.963**	1				
F I T S I G	Rt. PTQ Tri	.406**	.393**	.445**	.446**	1			
	Rt. Avg Tri	.418**	.412**	.455**	.461**	.985**	1		
	Rt. PTQ Bi	.301**	.307**	.512**	.461**	.561**	.571**	1	
	Rt. Avg Bi	.314**	.317**	.523**	.484**	.549**	.560**	.979**	1

Values are Mean±SD; * $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$
 PTQ Tri: Peak-Torque Triceps,
 PTQ Bi: Peak-Torque Biceps,
 Avg Tri: Average Triceps,
 Avg Bi: Average Biceps

오른쪽 상완 이두근의 최대근력과 평균 근력에서 통계적으로 유의하게 중등도 상관성이 각각 나타났다($p<0.01$), ($p<0.01$).

왼쪽 상완 삼두근과 상완 이두근의 근수축 동안 EMG 장비 근활성도의 상관성 분석은 <Table 5>와 같다. 오른쪽 상완 삼두근의 최대근력(.566**)과 평균 근력(.560**)에서 중등도 상관성이 각각 나타났다($p<0.01$), ($p<0.01$). 왼쪽 상완 이두근의 최대근력(.361**)과 평균 근력(.434**)에서 통계적으로 유의하게 중등도 상관성이 각각 나타났다.

Table 5. The correlation Left Arm(biceps, triceps) between Noraxon and Fitsig

EMG	Part	Noraxon				Fitsig			
		Lt. PTQ Tri	Lt. Avg Tri	Lt. PTQ Bi	Lt. Avg Bi	Lt. PTQ Tri	Lt. Avg Tri	Lt. PTQ Bi	Lt. Avg Bi
Noraxon	Lt. PTQ Tri	1							
	Lt. Avg Tri	.985**	1						
	Lt. PTQ Bi	.488**	.513**	1					
	Lt. Avg Bi	.500**	.530**	.974**	1				
Fitsig	Lt. PTQ Tri	.566**	.559**	.429**	.443**	1			
	Lt. Avg Tri	.552**	.560**	.430**	.449**	.970**	1		
	Lt. PTQ Bi	.383**	.373**	.361**	.358**	.519**	.533**	1	
	Lt. Avg Bi	.428**	.423**	.423**	.434**	.526**	.537**	.966**	1

Values are Mean±SD; *p<.05, **p<.01, ***p<.001
 PTQ Tri: Peak-Torque Triceps,
 PTQ Bi: Peak-Torque Biceps,
 Avg Tri: Average Triceps,
 Avg Bi: Average Biceps

2. 8 weeks of exercise changes muscle girth and muscle mass

오른쪽 상완의 둘레, 오른쪽과 왼쪽 상완 근육량 모두 시기에 따라 통계적으로 유의하게 증가하였다(p<0.001). 상완의 둘레 및 근육량의 이원배치 반복측정 분산분석의 결과는 <Table 6>, <Table 7>와 같다.

특히, 왼쪽 상완 둘레의 경우, 그룹 간의 차이(p<0.001)와 주 효과(그룹*시기)에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(p<0.01)<Table 7>.

Table 6. Comparison of the upper arm between circumference(cm) and muscle mass(kg) during exercise

(cm or kg)

	Group	During Exercise			F
		Pre test	4week test	8week test	
Rt. U. A. C.	DTG	29.91 ±4.48	30.57 ±4.28	30.48 ±4.31	G:0.903 T: 23.173*** G*T: 2.173
	DTEG	31.43 ±2.97	32.00 ±3.25	32.17 ±3.32	
	BTEG	29.44 ±3.18	30.50 ±3.50	30.96 ±3.37	
	RTEG	28.92 ±3.77	29.46 ±3.72	29.24 ±3.83	
Rt. U. A. M.	DTG	2.96 ±0.95	3.04 ±0.95	3.09 ±0.92	G:0.641 T: 43.681*** G*T: 0.911
	DTEG	3.06 ±0.64	3.15 ±0.65	3.21 ±0.67	
	BTEG	2.79 ±0.72	2.93 ±0.73	3.03 ±0.74	
	RTEG	2.59 ±0.75	2.68 ±0.77	2.75 ±0.82	
Lt. U. A. C.	DTG	29.52 ±4.40	30.13 ±4.29	30.14 ±4.31	G:0.736 T: 22.885*** G*T: 3.775**
	DTEG	31.08 ±2.81	31.42 ±3.32	31.63 ±3.27	
	BTEG	28.94 ±3.13	30.18 ±3.36	30.68 ±3.44	
	RTEG	28.83 ±3.92	29.08 ±3.70	29.12 ±3.63	
Lt. U. A. M.	DTG	2.94 ±0.95	3.00 ±0.92	3.05 ±0.90	G:0.708 T: 35.137*** G*T: 1.15
	DTEG	3.02 ±0.63	3.11 ±0.65	3.17 ±0.67	
	BTEG	2.72 ±0.72	2.85 ±0.71	2.94 ±0.71	
	RTEG	2.56 ±0.75	2.60 ±0.78	2.73 ±0.81	

Values are Mean±SD; *p<.05,**p<.01,***p<.001,
 G: group, T: time, GXT: group by time
 U.A.C: upper arm circumference,
 U.A.M: upper arm muscle mass,
 DTG: Dumbbell Training Group,
 DTEG: Dumbbell Training with EMG Group,
 BTEG: Body-weight Training with EMG Group,
 RTEG: Resistance-band Training with EMG Group

Table 7. Comparison of Times the upper arm between circumference(cm) and muscle mass(kg) during exercise

(cm or kg)

Time-Time			Comparsion			P-value
			Mean Difference	SE	df	
Rt.U.A.C.	P r e	4w	-.706	.142	2	.000
		8w	-.788	.130	2	.000
Rt.U.A.M.	P r e	4w	-.100	.017	1.790 [†]	.000
		8w	-.169	.022	1.790 [†]	.000
Lt.U.A.C.	P r e	4w	-.608	.137	1.868 [†]	.000
		8w	-.800	.136	1.868 [†]	.000
Lt.U.A.M.	P r e	4w	-.081	.020	2	.001
		8w	-.164	.020	2	.000

[†]Huynh-Feldt

U.A.C: upper arm circumference,

U.A.M: upper arm muscle mass,

DTG: Dumbbell Training Group,

DTEG: Dumbbell Training with EMG Group,

BTEG: Body-weight Training with EMG Group,

RTEG: Resistance-band Training with EMG Group

IV. Discussion

본 연구는 두 가지 EMG장치의 데이터 비교를 통해 운동 효과를 검증하기 위해서 20대 44명을 대상으로 하여 8주간의 운동을 하여 실시간 바이오피드백의 효과를 비교 확인하고자 하였다.

표면근전도는 (surface electromyography, sEMG)는 피부 표면에 전극을 부착하여 신호를 측정하는 방법이며 표면 전극 주변의 근육에서 발생하는 운동 단위 활동전위 (motor unit action potential)가 측정된다.

피부 표면에 부착된 전극과 운동 단위들의 거리에 따라 전극 사이의 전위차가 형성된다. 근활성도와 근피로도 등을 분석할 수 있어 신경의학, 재활의학, 스포츠과학은 물론 로봇공학 등 임상과 연구 등 다양한 분야에서 사용되고 있다[19-20]. 특히, 스포츠과학에서는 보편화되어있으며 임상에서 표면근전도를 활용한 바이오피드백 장치가 근골격계 치료 및 재활에 활용될 수 있다. 심지어 운동 처방에도 활용하는 사례도 찾아볼 수 있다[21].

이처럼 다양한 목적으로 근전도 활용에 관한 연구가 있으며 본 연구도 실시간 바이오피드백을 제공하여 운동의 효과를 극대화하는 도구로서 그 활용 가치를 확인하는 데 있다. 결과에서 보듯이 8주간 근전도를 활용한 운동이 효

과적이었음을 확인하였다. 그러나 표면 근전도는 다양한 분야에서 활용되지만, 장비가 갖는 한계가 존재한다. 운동 단위와 표면 전극 사이에서 신호가 왜곡되거나 신호의 크기에 영향을 받을 수 있다. 표면조건에 따라 근전도 값의 변화도가 크게 나타나는 경우도 존재한다[22]. 이를 보완하기 위하여 다양한 필터 및 신호 처리 방법 등 전처리 과정이 필수적이다. 다양한 방법으로 이러한 오류를 줄이기 위한 알고리즘 개발이나 하드웨어적인 개발의 시도가 이어지고 있다[23-25].

본 연구에서는 전극의 부착 부위 등에 대한 조건을 다양화하여 표면 근전도의 오차를 확인하는 과정을 거치고 가장 상용화되어있는 브랜드 회사의 제품과 비교 검증을 통해 오차의 범주를 확인하여 획득된 데이터의 신뢰성을 확보하는 과정을 통해 장치의 활용 가능성에 대해서 검증하였다. 그러나 표면 근전도의 값은 다양한 조건에 따라 그 차이가 발생하는 경우가 많아 추가적인 경우의 수를 고려하여야 할 것으로 판단된다. 선행연구에서 근전도 센서의 개발 사례를 일부 찾아볼 수 있으나 알고리즘 개발이나 센서에 국한된 개발 사례에 머물러 범용적인 상용화 단계의 제품 완성도를 이루거나 데이터 획득의 검증을 마친 제품은 찾아보기 힘들다.

다른 면에서 본 연구의 가치는 연구 장비의 국산화에 대한 시도이다. 근전도 국산화는 1991년 한양대 의대 금선일 교수팀(계량의학과)의 PC를 이용한 근전도 측정기기의 국산화 사례는 있지만, 현재까지 상용화되어 연구 장비로 보급된 사례를 보기 드물다. 2022년 정부는 대부분 수입에 의존하고 있는 첨단 연구 장비들의 국산화를 위해 5년간 370억 원의 예산을 투입하기로 했다. 과학기술정보통신부는 국산 장비의 경쟁력 강화를 위해 공공기술 보유기관과 연구 장비 기업이 주도하는 ‘연구 장비 개발 및 고도화 지원사업’을 추진하였다. 과기정통부에 따르면 2014년부터 18년까지 정부 R&D 예산으로 구축된 연구 장비는 5조 7,321억 원 규모인데 이중 국산 비율은 38.7%에 불과했다. 일부는 100% 수입하고 있는 품목도 있다.

연구 장비의 국산화율이 낮은 이유는 국내 연구 장비 업계의 기술력 부족이기도 하지만 시장규모가 확보되지 않아 산업으로 확대될 가능성이 크지 않기 때문이다. 또한, 연구자들의 외산 장비 선호 경향도 시장 확대의 걸림돌로 보고 있다. 이처럼 연구 장비에 있어서 국산화 개발이 매우 저조하여 초기 연구비용 증가 및 높은 연구 진입 장벽으로 인해 신진연구자의 연구 제한이 발생하여 연구 동력을 저해하는 사례가 많다. 근전도 활용의 가치 대비 경제

적 접근성에 대한 부분은 연구자들에게는 큰 장애물로 지적된다[26]. 이는 연구 장비 관리, 유지비 및 운영비 등의 문제로 이어져 효율 면에서도 부정적인 사례는 흔하다. 이러한 어려움의 방증으로 정부의 장비활용종합포털(ZEUS) 운영이 좋은 예일 것이다. EMG 시장은 5개 미만의 세계적 상표가 독점하다시피 하며 가격은 수천 달러에서 수만 달러로 형성되어 있다. 국내 총판이나 대리점을 통해 유통되므로 국내에서의 가격은 더욱 상승하게 된다. 전 세계 EEG 및 EMG 장비 시장 규모는 2022년에 미화 10억 달러에 달했고 2022년부터 2028년까지 7.2%의 성장률(CAGR)을 보이며 2028년까지 시장이 미화 15억 2000만 달러에 이를 것으로 예상하는 분석 보고서도 있다[27].

이처럼 근전도 시장은 급성장할 것으로 판단되어 제품의 국산화를 비롯하여 산업생태계에 성공의 가능성은 매우 크다고 판단된다. 국산화를 통해 가격 경쟁력을 확보함으로써 R&D 혁신역량 향상에 기여하고 연구력 증진의 촉매제가 될 수 있다.

추가로 연구용 장비 개발의 목적을 확대하여 대중들이 활용할 수 있는 장비로 장치의 성격을 확대한다면 부가가치는 무한히 증가할 것으로 판단된다. 산업용이나 건강관리의 도구로 진보한다면 시장성은 무한하다고 보인다. 산업현장에서 근골격계 질환을 유발하는 업무 환경에 노출된 근로자들의 시기적절한 피드백을 통해 안전과 건강을 담보할 수 있는 보조 장치로의 활용도 가능하다. 산업현장의 근골격계질환이 업무상 환자 10명 중 7명으로 발생비중이 가장 높다. 작업 관련성 질병 요양자 수 중 근골격계 질환자 수가 차지하는 비율은 2012년 94.2%에서 2021년 91.5%로 다소 감소하였으나, 근골격계질환 요양자수는 2012년 5,327명에서 2021년 11,868명으로 최근 10년간 매년 증가하는 추세이다[28]. 고령자 고용촉진법에서 정의하고 있는 준고령자(50-54세) 및 고령자(55세 이상)를 기준으로 이들 연령군에서 업무상 근골격계 질환의 현황을 보면 준고령자군에서 전체 발생 건수의 15.98%를 차지하였고, 고령자군에서 25.52%를 차지하여, 50세 이상의 고령군에서 전체의 40% 이상이 발생하였다. 2000년에는 전체 근골격계 질환자가 13.5%에서 2007년에는 23.6%로 증가하여 50세 이상의 업무상 근골격계 질환 점유율이 매우 빠른 속도로 증가하고 있다[29]. 따라서, 초고령사회의 가속화에 따라 근골격계의 약화로 발생하는 상해나 질병 또한 비율이 증가하고 있는 상황에서 이러한 장치의 적용은 그 효과를 기대해 볼 수 있다[30].

또 다른 관점에서 근전도의 활용은 시대 변화에 운동방

식의 다양화 및 선택의 폭의 증가에 따른 요구의 다양성 충족에서 찾아볼 수 있다. 기술의 발전은 소프트웨어와 하드웨어의 변화와 발전을 가져왔는데 그만큼 소비자의 기대치도 높아지고 다양해졌다. 홈트레이닝, 비대면, 가상 및 증강 현실, 온택트 등 과거에 없던 플랫폼의 등장은 이제 일반화되고 있다. 과거 단순히 건강에만 집중했다면 효율, 경제, 효과, 편리성, 유희 등의 요구도 증가하고 있다. 특히나 최근 몇 년간의 코로나19 팬데믹은 일상에 큰 변화를 줬으며 운동방식에도 큰 변화를 가져왔다[31-33].

이처럼 연구용 임상용 그리고 다양한 범용적 활용을 위한 장치의 데이터 신뢰성과 타당성 검증은 본 연구의 핵심 배경이다. 상완 삼두근과 상완 이두근의 근수축 동안 근전도 장비 근활성도의 상관성 분석 결과는 오른쪽 상완 삼두근의 최대근력과 평균 근력에서 중등도 상관성이 각각 나타났다.

8주간 운동 후 근육 둘레와 근육량이 모든 운동 그룹에서 운동의 효과가 같게 나타난 이유로는 비대면 트레이닝 동안 서로 다른 근육 운동을 하더라도 같은 부하량을 실시할 때 근 비대와 최대근력에 긍정적 변화는 본 연구 결과를 뒷받침해 준다. 바이오피드백을 활용은 동일한 부하량 조건 속에서 소도구가 달라도 움직임 패턴 트레이닝은 꾸준한 근비대 및 근력의 향상을 촉진하는 것을 확인하였다.

또한, 비교 대상인 Fittsig의 하드웨어 디자인이나 데이터 산출 방식이 신뢰할 수 있는 구간에 있다고 판단된다. 데이터의 신뢰도를 바탕으로 하드웨어의 다양화 및 소프트웨어 업그레이드 때 다양한 스포츠에서의 활용 가치가 매우 증가할 것으로 생각한다. 본 연구에서 살펴본 근전도를 활용한 운동 효과 평가 및 장비의 신뢰성 검증을 하였고, 국산화 및 산업화 측면에서의 중요성과 잠재적 가치에 대해 논의하였다. 근 성장과 관련한 생리학적 변화를 살펴보기 위해 실시간 EMG 장비와 관련한 다양한 부위 및 다양한 소프트웨어를 추가한 후속 연구가 필요하다.

V. Conclusions

본 연구에서는 앱 기반 클라우드 서비스를 실시간 제공하는 무선EMG 장비개발을 통해 데이터 신뢰성 입증과 근성장 지표 변화를 살펴보면서 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, Noraxon과 Fittsig EMG 장비를 사용하여 상완삼두근과 이두근의 근활성도를 분석하였다. 우측 상완삼두근 최대 근력 및 평균 근력에서 기존 EMG 장비의 상관성은

중등도로 나타났고, 좌측 상완삼두근 및 이두근에서도 유사한 결과를 얻었다.

둘째, 8주간의 운동 후 상완 돌레와 근육량이 통계적으로 유의하게 증가했으며, 그 중이 왼쪽 상완 돌레에서는 그룹 간 및 시간에 따른 효과가 통계적으로 유의성을 나타냈다.

해당 프로토타입의 EMG 장비는 시각과 청각에 대한 피드백을 실시간 제공함으로써 목표 근육의 근 활성도 및 근력에 대한 변화를 인지할 수 있으며, 근육별 피로도 확인하여 운동 부하량을 조절할 수 있는 피드백 데이터를 제공하였다. 현장에서 트레이너가 불균형 데이터를 활용할 경우 부상에 대한 대비가 가능할 수 있으며 장소와 공간에 제약이 없기 때문에 원격 트레이닝도 가능한 장점이 있다.

본 장비의 상관성 및 효과성의 입증을 통하여 추후 다양한 스포츠 종목별 과학적인 훈련 및 시니어 대상 낙상예방 운동에 활용도가 높을 것으로 기대된다. 앞으로 근신경 생리학적 변화 및 근피로도 연구 등 다양한 소프트웨어 적용은 실시간으로 피드백을 제공하여 운동의 안전을 보장하고, 운동 효과를 증대하고 효율성 높이고 과학적 데이터 제공을 통해 신뢰 증대와 동기부여를 통한 운동의 지속 가능한 행동 변화를 기대할 수 있다. 데이터 검증과 장치의 고도화를 통해 다양한 스포츠 종목과 상황에 장치의 접목을 통해 과학적인 훈련을 가능하게 하며 운동 효과의 증대를 기대할 수 있을 것이다. 또한, 연구 장비 도입 가격 부담에 따른 연구 활동 제약의 어려움을 해결하여 연구자들의 활발한 연구 활동이 가능한 환경 조성에도 큰 도움을 줄 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by the 2023 College of Culture and Sports of Korea University research grant.

REFERENCES

- [1] Markets and Markets, Wearable Healthcare Devices Market Global Forecast to 2025, <https://marketsandmarkets.com/Market-Reports/wearable-medical-device-market-81753973.html/>
- [2] Wearable Technology in Helthcare, https://www.tauli.cat/institut/wp-content/uploads/2020/06/ewarables-GlobalData_WearableTech
- [3] Fitbit, "The Impact Of COVID-19 On Global Sleep Patterns," 2020, <https://blog.fitbit.com/covid-19-sleep-patterns/>
- [4] Fitbit, "Are People Actually Sheltering -in-Place? Fitbit Looks at Steps to Find Out," 2020. <https://blog.fitbit.com/social-distancing-mobility/>
- [5] Q. Giorgio, M. R. Jennifer, G. Matteo, B-M. Katie, A. Lauren, R. Edward, K. Vik, J. T. Eric, and R. S. Steven, "Wearable sensor data and self-reported symptoms for COVID-19 detection," *Nature Medicine*, Vol. 27, No. 1, pp 73-77, October, 2020. DOI: 10.1038/s41591-020-1123-x
- [6] Google Trends. <https://trends.google.com/trends/>
- [7] J. H. Back, S. E. Yang, and J. M. Hyun, "Research on the Actual Condition of Sports Activities by COVID-19 and Improvements of Sports Activities," *Journal of the Korea Convergence Society*, Vol. 11, No. 12, pp. 343-351, December, 2020. DOI: 10.15207/JKCS.2020.11.12.343
- [8] J. A. Woods, N. T. Hutchinson, S. K. Powers, W. O. Roberts, M. C. Gomez-Cabrera, Z. Radak, I. Berkes, A. Boros, I. Boldogh, C. Leeuwenburgh, H. J. Coelho-Júnior, E. Marzetti, Y. Cheng, J. Liu, J. L. Durstine, J. Sun, and L. L. Ji, "The COVID-19 pandemic and physical activity," *Sports Medicine and Health Science*, Vol. 2, No. 2, pp. 55-64, June, 2020. DOI: 10.1016/j.smhs.2020.05.006
- [9] K. Golshani, M. E. Cinque, P. O'Halloran, K. Softness, L. Keeling, and J. R. Macdonell, "Upper extremity weightlifting injuries: Diagnosis and management," *Journal of orthopaedics*, Vol. 15, No. 1, pp. 24-27, March, 2018. DOI: 10.1016/j.jor.2017.11.005
- [10] A. Arnold, C. A. Thigpen, P. F. Beattie, M. J. Kissenberth, and E. Shanley, "Overuse physcal injuries in youth athletes: risk factors, prevention, and treatment strategies," *Sports health*, Vol. 9, No. 2, pp. 139-147, February, 2017. DOI: 10.1177/1941738117690847
- [11] T. Grier, R. D. Brooks, Z. Solomon, and B. H. Jones, "Injury Risk Factors Associated With Weight Training," *Journal of strength and conditioning research*. Vol. 36, No. 2, pp. e24-30, February, 2022. DOI: 10.1519/JSC.000000000000003791
- [12] N. Pop-Jordanova, and A. Demerdzieva, "Biofeedback training for peak performance in sport-case study," *Macedonian journal of medical sciences*, Vol. 3, No. 2, pp. 113-118, June, 2010. DOI: 10.3889/MJMS.1857-5773.2010. 0098
- [13] B. Juul-Kristensen, C. M. Larsen, H. Eshoj, T. Clemmensen, A. Hansen, P. B. Jensen, E. Boyle, and K. Søgaard, "Positive effects of neuromuscular shoulder exercises with or without EMG-biofeedback, on pain and function in participants with subacromial pain syndrome-A randomised controlled trial," *Journal of Electromyography and Kinesiology*, Vol. 48, pp. 161-168. October, 2019. DOI: 10.1016/j.jelekin.2019.07.009
- [14] S. Middaugh, K. Thomas, A. Smith, T. McFall, and J. nologyinHealthcare_220819.pdf

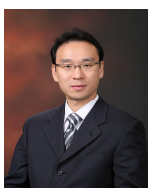
- Klingmueller, "EMG biofeedback and exercise for treatment of cervical and shoulder pain in individuals with a spinal cord injury: a pilot study," *Topics in spinal cord injury rehabilitation*, Vol. 19, No. 4, pp. 311-323. November, 2013. DOI: 10.1310/sci1904-311
- [15] P. Kugler, S. Reinfelder, J. Schlachetzki, and B. M. Eskofier, "Mobile EMG Analysis with Applications in Sport and Medicine," *Proceedings of the 1st Biomedical Signal Analysis*, pp. 21-24, October, 2013.
- [16] E. T. Horta, I. C. Lopes, J. J. Rodrigues, and M. L. Proença, "A mobile health application for falls detection and biofeedback monitoring," In *2013 IEEE 15th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services(Healthcom 2013)*, pp. 36-40, October, 2013. DOI: 10.1109/HealthCom.2013.6720634
- [17] A. Umek, and A. Kos, "The role of high performance computing and communication for real-time biofeedback in sport," *Mathematical problems in engineering*, Vol. 2016, May, 2016. DOI: 10.1155/2016/4829452
- [18] J. He, "Application of Biofeedback Training in Sports Science," *Insight-Sports Science*, Vol. 2, No. 2, pp. 54-87, December, 2020. DOI: 10.18282/iss.v2i2.384
- [19] B. Dellon, and Y. Matsuoka, "Prosthetics, exoskeletons, and rehabilitation [Grand Challenges of Robotics]," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, Vol. 14, No. 1. pp. 30-34, March, 2007. DOI: 10.1109/MRA.2007.339622
- [20] S. C. Kwon, and J. Kim, "Human-Machine Interaction based on a Real-time Upper Limb Motion Prediction using Surface Electromyography," *HCI2009*, pp. 418-421, February, 2009. DOI: 10.1109/ICSMC.2009.5346905
- [21] H. J. Kim, and J. Lee, "Development of a Exercise Prescription Device using EMG Signal," *The Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology*, Vol. 5, No. 3, pp. 152-157, September, 2012.
- [22] G. A. Batista, S. P. Beltrán, M. H. P. Passos, L. B. Calixtre, L. R. H. Santos, and R. C. Araújo, "Comparison of the Electromyography Activity during Exercises with Stable and Unstable Surfaces: A Systematic Review and Meta-Analysis," *Sports (Basel)*, Vol 12, pp. 111. April 2024. DOI: 10.3390/sports12040111
- [23] D. Zhang, Z. Chen, L. Xiao, B. Zhu, R. Wu, C. Ou, Y. Ma, L. Xie, and H. Jiang, "Stretchable and durable HD-sEMG electrodes for accurate recognition of swallowing activities on complex epidermal surfaces," *Microsystems & Nanoengineering* Vol. 9, No. 115, November, 2023. DOI: 10.1038/s41378-023-00591-3
- [24] H. S. Han, O. K. Kwon, J. K. Kim, and K. Y. Song, "Exercise Management Method and System using EMG Sensor," *The 2019's Winter Conference of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 1, pp. 543-544, Yongpyeong, Korea, 2019.
- [25] S. K. Kyeong, S. H. Jo, and J. Kim, "A torque estimation method in sEMG by predicting major muscle activation for electrode location variation," *Institute of Control, Robotics and Systems, ICROS 2020*, pp. 160-161, Korea, 2020.
- [26] F. Felici, A. D. Vecchio, "Surface Electromyography: What Limits Its Use in Exercise and Sport Physiology?," *Front Neurol*, Vol 11, 2020. DOI: 10.3389/fneur.2020.578504
- [27] IMARC, "EEG and EMG Equipment Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2023-2028," *IMARC(The International Market Analysis Research and Consulting Group)*, November, 2023.
- [28] 2012 Ministry of Employment and Labor, "Analysis of the status of industrial accidents in 2012," *MoEL*, pp. 316-323, 2021.
- [29] Ministry of Employment and Labor, "Analysis of the status of industrial accidents in 2000, 2007, and 2014," *Ministry of Employment and Labor*.
- [30] Knowledge Industry Information Institute, "Latest advanced sensor technology for the 4th industry and promising fields/ Analysis of the industry status and market prospect," *R&D information center in Knowledge Industry Information Institute*, February, 2018.
- [31] H. J. Lee, "The Sports after COVID-19" *Bookk*, 2020.
- [32] H. Kaur, T. Singh, Y. K. Arya and S. Mittal, "Physical Fitness and Exercise During the COVID-19 Pandemic: A Qualitative Enquiry," *Frontiers in Psychology*, Vol. 11, October, 2020. DOI: 10.3389/fpsyg.2020.590172
- [33] J. N. Kwon, and S. B. Nam, "How Has the Home Training Trend Changed before and after the COVID-19 Pandemic?," *Journal of Sport and Leisure Studies*, Vol. 90, pp. 279-293, October, 2022. DOI: 10.51979/KSSLS.2022.10.90.279

Authors



Changjin Ji received a B.S degree in Shingu University in 2005. He received a M.S. Ph.D. degree in sports medicine and Sport science in Korea University, Korea, 2014, 2021. in respectively.

Dr. Changjin Ji is currently an Assistant Professor at the Department of Sports Rehabilitation at Tongmyong University, Korea. His research interests include Motor control and performance, sports physical therapy, exercise physiology.



Yong-Hyun Byun received a B.S., M.S. and Ph.D. degrees in the Department of Physical Education and Sports Science at Korea University, Korea, in 1994, 1996 and 2003, respectively.

Dr. Byun is currently an Associate Professor at the Department of Sports Medicine at Dankook University, Korea. His research interests include sports medicine, exercise physiology, exercise testing and prescription, and health science.



Sangho Kim received a B.S. degree from Department of Sport for all, Korea University in 1994 and M.S. and Ph.D. degrees from Department of Physical Education, Korea University in 1996 and 2003.

Dr. Sangho Kim is currently a professor at the Department of International Sports at Korea University and is interested in research areas such as exercise physiology, big data, and IT technology.