

Analysis of Exercise Intensity Based on Cardiorespiratory Response in a Virtual Reality-Based Exercise Program for Firefighter Physical Fitness Enhancement

Min-Geon Je¹, Dong-Il Seo², Jung-Jun Park³, Hyun-Joo Kang⁴, Wook Song^{5,6}, Chung-Gun Lee⁵, Yeon-Soon Ahn⁷, Ji-Been Kim^{3*}, Han-Joon Lee^{1*}

¹ School of Sport Science, University of Ulsan, Ulsan, Republic of Korea

² Department of Sports Science, Dongguk University, Gyeongju, Republic of Korea

³ Division of Sports Science, Pusan National University, Busan, Republic of Korea

⁴ Department of Sports Medicine, Soonchunhyang University, Asan, Republic of Korea

⁵ Department of Physical Education, Institute of Sport Science, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea

⁶ Institute on Aging, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea

⁷ Department of Preventive Medicine and Genomic Cohort Institute, Yonsei Wonju College of Medicine, Yonsei University, Wonju, Republic of Korea

Received: October 27, 2023

Accepted: December 13, 2023

Published online: January 31, 2024

Keywords:

Heart Rate
Korean Firefighter
Kinect-based Mixed Reality Device
Oxygen consumption



ABSTRACT

OBJECTIVES Current regulations for Korean firefighters primarily emphasize exercise during working hours without specifying particular exercise methods. This study aims to evaluate the exercise intensity of the stepwise Korean Firefighter Fitness Program (KFFP) using Kinect-based mixed reality device (Virtual mate, VM), considering the demanding 24-hour shift work and high physical strength requirements. The objective is to assess its potential as one of the exercise methods and provide valuable insights.

METHODS Researchers recruited 30 participants to evaluate the exercise intensity based on the cardiopulmonary responses induced by the Stepwise Korean Firefighter Fitness Program (KFFP) using Virtual Mate (VM). Initially, the participants' resting heart rate, maximum heart rate (HR_{max}), and maximum oxygen consumption (VO_{2max}) were measured. Subsequently, researchers monitored the participants' cardiopulmonary responses by employing portable gas analyzers and wireless heart rate monitors while implementing the Stepwise KFFP with VM. Exercise intensity related to cardiopulmonary responses was recorded using both absolute parameters (VO_2 , HR) and relative parameters ($\%VO_{2max}$, $\%HRR$, $\%HR$). Researchers utilized repeated measures analysis of variance for statistical analysis.

RESULTS The analysis of the stepwise KFFP using VM showed significant increases all parameters as the program advanced ($p < .001$). VO_2 increased from around 19.4 ml/kg/min in Step 1 to approximately 22.8 ml/kg/min in Step 3. Similarly, $\%HRR$ rose from roughly 40.6% in Step 1 to about 53.9% in Step 3.

CONCLUSIONS Upon evaluating the stepwise KFFP based on the exercise intensity levels recommended by ACSM, it is confirmed that the stepwise KFFP using VM comprises both moderate-intensity and high-intensity exercises. This approach is deemed effective and can serve as a fitness management method for firefighters working in 24-hour shift patterns that demand high fitness levels.

© The Asian Society of Kinesiology and the Korean Academy of Kinesiology

This research was supported by the Emergency Response to Disaster Sites Research and Development Program, funded by the National Fire Agency (20013968, Korea Evaluation Institute of Industrial Technology, KEIT).

*These authors contributed equally to this work.

***Correspondence:** Ji-Been Kim, Division of Sports Science, Pusan National University, Busan, Republic of Korea; Tel: +82-10-5538-2022; E-mail: jibeon7@pusan.ac.kr

***Correspondence:** Han-Joon Lee, School of Sport Science, University of Ulsan, Ulsan, Republic of Korea; Tel: +82-10-9150-1852; E-mail: hanjoon@ulsan.ac.kr



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

소방공무원은 타 직종에 비해 특수한 직무를 수행함에 따라 높은 수준의 체력 수준이 요구되는 직종이다. 특히, 화재진압과 구조 및 구급 활동을 수행하는데 헬멧, 마스크, 산소통, 방화복 등 총 20-30 kg이 되는 개인보호장비를 착용한 상태에서 구조장비를 들고 현장에 투입되기 때문에 높은 수준의 체력이 요구된다[1]. 또한 지역 특성과 지방자치단체의 소방 수요를 고려하여 3조 1교대 또는 2교대 근무를 실시하고 있어 체력 관리에 큰 노력이 요구된다. 하지만 소방서에 체력단련을 위한 시설이 적합하지 않은 등의 환경 관련 문제로 체력 관리에 어려움이 있다[2]. 이에 따라 소방청에서 제시된 근무규칙의 일과표에는 근무일과 중 체력 관리 항목이 편성되어 있지만 수행하기 쉽지 않다[3]. 또한 2022년 기준 소방공무원은 66,595명이고 그중 여성 소방공무원은 6,655명으로 약 10%를 차지하고 있으며 지난 10년간 여성 소방공무원의 비율을 약 2.5배 증가하였다[4]. 체력 수준에 따른 다양한 강도의 운동프로그램이 요구되고 있다.

소방공무원의 체력 관리의 방안에 대한 필요성이 대두되면서 관련된 많은 연구가 진행되고 있다. 국외의 연구를 살펴보면, 미국화재예방협회(National Fire Protection Association)에서 소방공무원이 현장에서 구조, 구급, 화재진압 등 임무를 수행하기 위해서는 최소 42 ml/kg/min 이상의 산소섭취량을 권장하고 있다. 이를 위해 체력단련 프로그램, 체력향상 교육 및 상담, 체력단련 프로그램에 대한 정보수집 및 관리 등을 제공하고 있다[5]. 반면에 국내의 연구를 살펴보면, 소방 직무수행과의 관계에서 심폐지구력, 근력, 순발력, 유연성이 소방 업무수행과 밀접한 관련이 있는 체력 요소라고 보고하고 있으며[6], 최대산소섭취량, 근력, 근지구력 등 체력 실태조사를 실시하였다[7]. 또한 소방관선발체력평가(Candidate Physical Ability Test)를 활용해 국내 소방공무원의 직무수행 관련 체력을 평가하였다[8]. 이처럼 국내 선행연구는 소방공무원 체력의 실태 파악에 초점을 두고 있으며 체력관리 방안에 대한 연구는 미비한 실정이다.

한국 소방공무원의 체력증진을 위한 방안으로 혼합현실 기반의 장비는 하나의 대안이 될 수 있다. 혼합현실은 사람의 오감 중 시각, 청각, 촉각 등 감각을 통해 인지능력을 활성화해 컴퓨터와 사람을 연결하여 몰입, 상호작용, 상상의 3가지 요소를 특징으로 공간 및 시각적인 간접 체험

을 경험하도록 만드는 기술이다[9]. 과거 혼합현실을 구현하는 장비는 큰 부피와 무거운 중량으로 쉽게 사용하기에 어려움이 있었지만, 현재는 부피와 중량이 줄어들었고 사용법도 쉬워져 상용화할 수 있는 단계에 이르렀다[10]. 대표적인 예로 Nintendo의 게임기 “Wii Sports”가 있는데, 혼합현실과 운동을 융합하여 간편한 휴대성과 비교적 낮은 비용이 장점이다. 혼합현실을 이용하면 운동에 몰입하게끔 해주며, 동기부여 그리고 성취감을 이루게 함으로써 정확한 동작을 수행하게 만들어 준다[8].

선행연구에서 뇌성마비 청소년, 뇌졸중 환자, 파킨슨병 환자, 만성 요통 환자, 노인 등 혼합현실 기반 프로그램과 관련하여 비교적 낮은 체력 수준의 집단에 적용하여 증상이 개선된 연구 사례가 있다[11-15]. 더 나아가 건강한 성인의 건강증진을 위해 혼합현실 기반의 코어 운동 헬스케어 시스템 개발에 대한 복합적 연구, 혼합현실을 활용한 문화 체육시설 시뮬레이션, VR스포츠를 활용한 사용자 피트니스 관리시스템의 개발 방법 등 기술 및 시스템 개발에 대한 다양한 연구들이 시도되고 있다[16-17]. 운동을 지속적으로 수행하는 데 있어 중요한 요소 중 하나는 동기부여와 성취감이라고 볼 수 있는데, 이러한 요소는 피드백을 통해서 흥미와 목표 달성에 연결된다. 혼합현실 운동 장비는 다양한 시각, 청각 등 정보를 제공함으로써 전정기관의 균형 및 평형감각에 복합적으로 자극을 주고 운동 시간, 세트 횟수 등의 피드백을 통해 사용자에게 동기를 부여할 수 있다[18]. 또한 근전도 피드백을 통해 시스템 개발 및 효과 검증을 실시하였는데 몸통 중심 근육 활성도가 유의하게 나타났다고 보고했으며[19], 시각적 피드백의 여부에 따라 고관절 운동 동작 오차 수준을 비교하여, 시각적 피드백이 있을 때, 오차 범위가 감소하였다고 보고되고 있다[20].

이렇듯 혼합현실 기반 장비를 활용한 운동프로그램이 피드백을 통한 효과 검증 연구가 조금씩 두각을 나타내고 있어 높은 수준의 체력이 요구되는 소방공무원에도 효율적인 운동 방법일 수 있다. 선행연구에서 소방공무원의 운동 수행에 영향을 미치는 요인으로써 운동 강사의 부재와 운동 공간 및 시설의 한계로 나타났다[2]. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 24시간 교대근무로 운영되는 소방서의 특성을 고려해 운동 강사를 24시간 상주시키는 것, 소방서의 공간을 증설하는 것, 운동 시설을 추가로 설치하는 것에는 경제적 부담이 작용할 수밖에 없다. 그에 비해 최근에 개발된 혼합현실 운동 장비는 약 3.3m²의 공간에서 운동 동작에 대한 피드백이 가능해 운동 강사를 대체할 수 있

어 앞선 해결책보다는 경제적인 것으로 생각된다. 이에 제도적으로 근무 중 운동시간이 포함되어 있으나 뚜렷한 운동 방법을 제시되지 못하고 있는 실정에서 혼합현실 기반 장비를 활용한 운동프로그램을 제공하면 운동 참여 동기부여와 무인 운동지도 방법으로 가치가 있을 것으로 판단된다. 또한 한국 소방공무원을 대상으로 소방 직무 관련 체력 증진을 위한 특화된 운동 프로그램은 부재한 실정이다. 이에 본 연구진은 근전도 측정을 통해 소방 직무 수행 중 활성화되는 근육을 분석한 선행연구 등을 바탕으로 소방 직무 수행능력을 향상할 수 있는 운동 동작으로 구성된 소방 직무 관련 체력 증진 프로그램(Korean firefighter fitness program, KFFP)를 마련하였다[21-22].

따라서 본 연구에서는 혼합현실 기반의 운동장비를 활용하여 소방 활동에 특화된 동작으로 구성된 1단계, 2단계, 3단계 KFFP를 적용해 운동 강도에 따른 심폐 반응의 차이를 분석하여 소방공무원에 실질적으로 적용할 수 있는지에 대한 기초자료로 제공하고자 한다.

연구방법

1. 연구대상

연구 대상자는 U 광역시에 거주 중인 체육학과에 재학 중인 대학생으로 선정하였다. 선정 기준은 정형외과 수술한 이력이 없는 자, 신경외과 수술한 이력이 없는 자, 심폐질환이 없는 자, 신체활동준비 설문지(Revision of the physical activity readiness questionnaire) 응답에 적합한 자로 선정하였다[23]. 모든 연구 대상자에게 연구 참여 전, 연구의 목적 및 취지를 설명하였고 연구 참여에 대한 윤리적 사항에 대해 충분한 설명을 듣고 동의서를 받았으며 헬싱키 선언에 근거한 절차에 따라 연구를 진행하였

다. 연구 대상자의 신체적 특징은 (Table 1)과 같다.

2. 연구 절차

본 연구는 혼합현실 기반 장비(VM, Virtual mate, My benefit, Seoul, Rep. of Korea)에 본 연구진이 구성한 1단계, 2단계, 3단계 KFFP를 적용하여 비교·분석하였다. 먼저, 연구대상자의 안정 시 심박수(Resting heart rate, RHR)를 측정하고 최대운동부하검사를 실시하여 최대산소 섭취량(Maximum oxygen consumption, VO_{2max})과 최대심박수(Maximal heart rate, HR_{max})를 측정하였다. 이후, 1단계, 2단계, 3단계 KFFP를 실시하였으며 휴대용 가스 분석기(K5, COSMED, Rome, Italy)와 무선 심박수 측정계(HR Band, COSMED, Rome, Italy)를 이용하여 산소섭취량(Oxygen uptake, VO_2)과 심박수(Heart rate, HR)를 측정하였다. VO_{2max} 및 단계별 KFFP 측정 사이의 간격은 일주일(wash out period)로 일회성 연구 대상자의 운동 효과를 상쇄하려고 하였다. 또한 연구 대상자에게 연구 기간 동안 추가적인 신체활동을 자제할 것을 권고하였다.

3. 측정 항목 및 방법

1) 최대 운동 부하 검사

연구대상자의 VO_{2max} 와 HR_{max} 를 측정하기 위해 심박수 측정기, 휴대용 가스 분석기를 착용하고 운동부하검사 측정기(Treadmill, Quinton, Chicago, USA)를 활용하여 Bruce protocol을 실시하였다[24]. 휴대용 가스 분석기는 30분 동안 예열한 후 16% 혼합가스(High Cal. O_2 16%, CO_2 5%)와 실린더(3 l)를 이용하여 캘리브레이션(calibration) 하였다. VO_{2max} 의 판정 기준은 HR이 예측된 최대심박수의 90% 이상이거나, 호흡교환율이 1.15 이상인 경우, 또는 운동 부하가 증가함에도 VO_2 의 변화가 없는 고

Table 1. Characteristics of participants.

Variables	Total (n=30)	Male (n=18)	Female (n=12)
Age (yrs)	22.30±3.33	23.11±3.69	21.08±2.35
Height (cm)	173.30±11.87	181.31±7.47	161.30±4.81
Weight (kg)	73.45±13.22	80.14±11.49	63.42±8.58
Skeletal muscle mass (kg)	32.24±7.46	37.38±4.51	24.54±2.73
Body fat (kg)	16.32±5.56	14.60±5.33	18.91±5.03
Body mass index (kg/m ²)	23.66±4.85	24.35±2.82	22.62±6.92
Body fat percentage (%)	22.46±7.28	17.82±4.38	29.43±4.68

Data are expressed as mean±standard deviation.

원현상이 나타나는 경우로 결정하였다[24].

2) 혼합현실 기반 운동 프로그램 측정 방법

연구대상자는 VM를 활용하여 구성된 1단계, 2단계, 3단계 KFFP를 무작위 배정을 통해 1주일 간격으로 실시하였으며 총 3회 반복하였다. 이때, 심박수 측정기와 휴대용 가스 분석기를 활용하여 운동 중 VO₂와 HR을 측정하였다. 또한 연구대상자는 신체의 관절 인식이 용이하도록 운동복을 착용하였다. 이는 관절의 좌표를 생성 및 동작 감지에 정확하게 감지되도록 하기 위해서이다. 머리카락이 장발인 경우, 머리 부분의 인식률이 낮아지기 때문에 머리카락을 올려서 묶도록 하였다.

4. 운동 프로그램

연구대상자는 VM을 활용하여 1단계, 2단계, 3단계 KFFP를 실시하였으며, 각각 준비운동, 본 운동, 정리운동을 포함하여 약 30분의 운동프로그램에 참여하였다. 단계별 준비운동과 정리운동의 내용은 동일하며 준비운동은 동적 스트레칭으로 목, 어깨, 허리 무릎, 발목, 손목, 팔 벌려 높이뛰기를 실시하였으며 정리운동은 정적 스트레칭으로

모든 관절에 적용하여 실시하였습니다. KFFP는 소방 직무 관련 동작의 주동근을 활용한 14가지 동작으로 구성되어 있다. 각 동작은 1분 동안 실시하며 동작 간 휴식은 15초이다. 덤벨을 사용하는 동작의 경우, 덤벨의 중량은 1단계에서는 남성 8 kg, 여성 4 kg이고 2단계에서는 남성 10 kg, 여성 6 kg이며, 3단계에서는 남성 12 kg, 여성 8 kg을 사용하도록 구성하였다. 이렇듯 단계별로 중량을 증가시켜 1단계, 2단계, 3단계의 KFFP를 구성하였다(Table 1, Table 2, Table 3).

5. 혼합현실 기반 운동 장비

본 연구에서 활용된 VM은 2D 및 3D 촬영 카메라, 동작감지센서, 영상 출력, 영상투사 등을 활용한다. 촬영 카메라는 신체의 관절을 촬영하여, 관절의 좌표를 생성한다. 동작감지센서(Kinect V2, Microsoft, Washington, USA)는 신체 관절의 움직임을 감지하여 동작 분석하고 동작의 정확성을 평가한다. 이를 통해서 영상 출력에 사용자의 모습이 나타난다(Figure 1). 영상 출력에서는 사용자의 모습과 입력된 운동 동작 영상, 운동 시간, 사용자의 운동 동작 개선 사항 등 정보를 제공한다. 사용자의 운동 동작 개선 사

Table 2. Step 1 Korean firefighter fitness program.

Order	Type	Time (sec)	Target (reps)	
Warm-up	Dynamic stretching	300	-	
	Side step	60	60	
	Renegade low (right)	60	30	
	Renegade low (left)	60	30	
	Dumbbell floor press	60	30	
	Single leg sprint (right)	60	20	
	Single leg sprint (left)	60	20	
	Squat side kick	60	30	
	Leaning camel	60	12	
	Double heel tap	60	30	
	Main Exercise	Squat	60	30
		Leaning lifting crunch (right)	60	30
		leaning lifting crunch(left)	60	30
		Overhead triceps extension	60	20
Bent over lateral raise		60	20	
Lunge		60	20	
High knee		60	50	
Standing oblique twist		60	30	
Static stretching		300	-	
Cool Down		Total	1,620(27 min)	-

Table 3. Step 2 Korean firefighter fitness program.

Order	Type	Time (sec)	Target (reps)	
Warm-up	Dynamic stretching	300	-	
	Side step	60	60	
	Push up	60	30	
	Arm walking	60	10	
	Running man kick (right)	60	20	
	Running man kick (left)	60	20	
	Squat side kick	60	30	
	Plank	60	1	
	Beginner side plank raise (right)	60	40	
	Beginner side plank raise (left)	60	40	
	Main Exercise	Two arm dumbbells low	60	30
		Shoulder press	60	20
		Straight leg dead lift	60	20
		Two hop Squat	60	20
Bird dog (right)		60	20	
Bird dog (left)		60	20	
Pendulum lunge (right)		60	15	
Pendulum lunge (left)		60	15	
High knee		60	100	
Static stretching		300	-	
Cool Down	Total	1,680(28 min)	-	

Table 4. Step 3 Korean firefighter fitness program.

Order	Type	Time (sec)	Target (reps)	
Warm-up	Dynamic stretching	300	-	
	Side step	60	60	
	Full buffy	60	20	
	Pike push up	60	30	
	Clapping push up	60	20	
	Twist lunge (right)	60	20	
	Twist lunge (left)	60	20	
	Jump squat	60	40	
	Side plank oblique twist (right)	60	20	
	Side plank oblique twist (left)	60	20	
	Main Exercise	Warrior balance (right)	60	15
		Warrior balance (left)	60	15
		Pop squat	60	40
		Straight leg dead lift	60	30
Dumbbell floor press		60	25	
Side plank (right)		60	1	
Side plank (left)		60	1	
Half buffy		60	40	
High knee		60	100	
Static stretching		300	-	
Cool Down	Total	1,680(28 min)	-	

항은 운동 중 사용자 관절의 위치 정보를 기반으로 실시간으로 정확한 관절 위치에 대한 피드백을 제공함으로써 정확한 동작을 수행할 수 있게 하며, 이를 바탕으로 즉각적으로 운동 동작에 대한 정확성 판정이 이루어진다. 영상투사는 바닥면에 손·발의 위치, 시간, 횟수 등 정보를 제공한다. 운동 종료 후, VM에서 동작 유형별 목표 횟수 대비 수행 횟수에 대한 수행률과 운동 동작의 정확도를 간략히 나타내준다.

6. 자료처리

본 연구의 자료처리는 SPSS 25.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 분석하였다. 먼저 여유심박수(Heart rate reserve, HRR), VO_{2max} , HR_{max} 에 대한 기술통계를 제시하였다. 이를 바탕으로 1단계, 2단계, 3단계의 KFFP 수행 중 VO_2 , HR, $\%VO_{2max}$, $\%HR_{max}$, $\%HRR$ 에

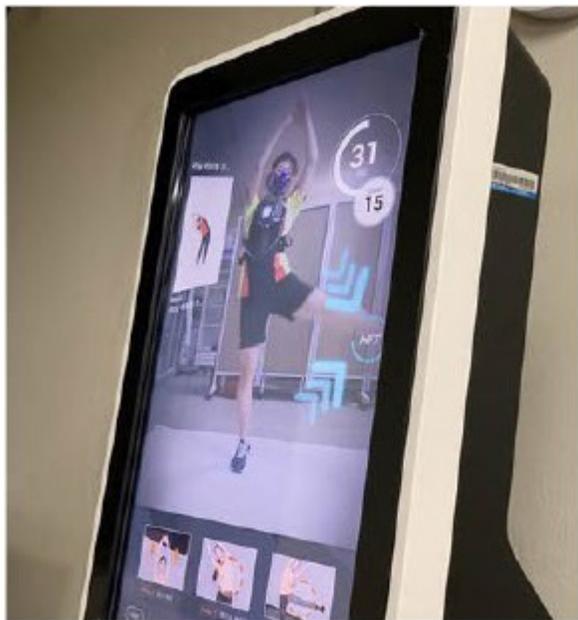


Figure 1. Virtual Mate.

대한 기술통계를 제시하고 반복측정분산분석(repeated-measures ANOVA)을 통해 강도 차이를 분석하였다. 통계적 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

결과

대상자의 RHR, VO_{2max} , HR_{max} 의 측정 결과는 (Table 5)에 나타낸 바와 같다. 남성과 여성의 RHR의 차이는 약 5 bpm 정도로 남성 대상자가 높게 나타났고, HR_{max} 의 차이는 약 2 bpm으로 여성 대상자가 높게 나타났으며, VO_{2max} 의 차이는 약 11 ml/kg/min으로 남성 대상자가 높게 나타났다.

운동프로그램의 절대 VO_2 , HR의 측정 결과는 (Table 6)에 나타낸 바와 같다. HR은 단계별 차이는 1단계와 2단계는 약 8 bpm으로 나타났고 2단계와 3단계는 약 6 bpm으로 나타났으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p < .001$). VO_2 의 단계별 차이는 1단계와 2단계는 약 1 ml/kg/min으로 나타났고 2단계와 3단계는 약 2 ml/kg/min으로 나타났으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p < .001$).

운동 프로그램의 상대 $\%HRR$, $\%HR_{max}$, $\%VO_{2max}$ 의 측정 결과는 (Table 7)에 나타낸 바와 같다. $\%HRR$ 는 단계별 차이는 1단계와 2단계는 약 7%로 나타났고 2단계와 3단계는 약 6%로 나타났으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p < .001$). $\%HR_{max}$ 의 단계별 차이는 1단계와 2단계는 약 4%로 나타났고 2단계와 3단계는 약 3%로 나타났으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p < .001$). $\%VO_{2max}$ 의 단계별 차이는 1단계와 2단계는 약 2%로 나타났고 2단계와 3단계는 약 4%로 나타났으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p < .001$).

Table 5. Descriptive statistics of resting heart rate, maximum heart rate, and maximum oxygen intake.

Variables	Resting heart rate (bpm)	Maximal heart rate (bpm)	Maximal oxygen uptake (ml/kg/min)
Male (n=18)	90.94±8.08	196.89±3.69	57.63±8.72
Female (n=12)	85.67±8.82	198.92±2.35	46.77±4.40
Total (n=30)	88.83±8.65	197.70±3.33	53.28±9.01

Data are expressed as mean±standard deviation.

Table 6. Descriptive statistics on absolute heart rate and oxygen uptake by exercise program stage.

Variables	1 st stage	2 nd stage	3 rd stage	F	Post-hoc (LSD)
HR (bpm)	133.2±15.1	141.4±15.1	147.6±16.6	20.22***	1 st < 2 nd < 3 rd
VO ₂ (ml/kg/min)	19.4±2.9	20.5±2.1	22.8±3.4	15.32***	1 st < 2 nd < 3 rd

Data are expressed as mean±standard deviation.
***p<.001

Table 7. Descriptive statistics for relative %HRR, %HR_{max} and %VO_{2max} according to exercise program stage.

Variables	1 st stage	2 nd stage	3 rd stage	F	Post-hoc (LSD)
%HRR (%)	40.6±14.0	47.9±14.6	53.9±15.2	21.35***	1 st < 2 nd < 3 rd
%HR _{max} (%)	67.4±7.7	71.4±7.5	74.6±8.3	20.89***	1 st < 2 nd < 3 rd
%VO _{2max} (%)	37.1±6.6	39.6±7.1	43.9±10.3	12.31***	1 st < 2 nd < 3 rd

Data are expressed as mean±standard deviation.
***p<.001

논의

본 연구는 소방공무원을 위해 구성된 단계별 운동프로그램을 혼합현실 기반 장비에 활용하여 심폐 반응에 따른 운동강도 차이를 분석하였다. 먼저 최대운동부하검사를 실시하여 연구대상자의 RHR, HR_{max}, VO_{2max}를 측정하였다. 그리고 VM에 단계별로 구성된 KFFP를 적용하여 심폐 반응의 운동강도 차이를 분석한 결과, 단계의 순서에 따라 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

운동강도를 나타내는 지표 중 심박수는 운동 시 변화하는 심장의 박동 횟수로 나타내며, 산소섭취량은 운동 시 소비되는 산소를 양으로 나타낸다. 심폐 반응은 심박출량, 심박수 등 심장의 반응과 환기량, 산소섭취량 등 폐의 반응이 복합적으로 작용하는 것을 말하며[25], 이 중 심폐의 상태를 확인하는 데 가장 보편적으로 사용하는 것이 HR과 VO₂이다. 이를 가지고 HRR, HR_{max}, VO_{2max}을 백분율로 운동강도를 표현할 수 있다[26]. 심폐지구력은 소방공무원의 공상률과 높은 상관성을 보여주는 지표이기 때문에 [27] 심폐지구력을 향상하는 것은 소방공무원에 매우 중요한 일이다. 이에 본 연구에서는 소방공무원에게 적용하기 이전에 높은 수준의 체력을 지닌 대상자에게 VM에 구성된 단계별 KFFP를 적용해 그 강도를 확인해 적절한 운동프로그램을 소방공무원에 제공하기 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

U 대학교의 체육학과 학생들을 대상으로 실시하였으며 남성 대상자의 VO_{2max}는 약 57.6 ml/kg/min이고 여성

대상자의 VO_{2max}는 약 46.7 ml/kg/min이다. 이는 대상자의 연령을 고려했을 때, 남성 대상자는 상위 20%, 여성 대상자는 상위 20%의 수준으로 비교적 높은 수준의 체력을 지니고 있어 소방공무원의 체력 향상을 위한 운동프로그램 강도 분석에 적절한 대상자라고 볼 수 있다[24]. 본 연구의 결과에서 나타난 %HRR을 ACSM에서 제시하는 운동강도의 기준으로 살펴보았을 때, 1단계 KFFP는 약 40.6%로 중강도에 해당하였고, 2단계 KFFP는 약 47.9%로 역시 중강도에 해당하였으며, 3단계 KFFP는 약 53.9%로 중강도와 고강도 사이의 강도로 나타났다. 또한 %HR_{max}를 ACSM에서 제시하는 운동강도의 기준으로 살펴보았을 때, 1단계 KFFP는 약 67.4%로 중강도에 해당하였으며 2단계 KFFP는 약 71.4%로 역시 중강도에 해당하였고, 3단계 KFFP는 약 74.6%로 중강도에 해당하였다. 그리고 %VO_{2max}를 ACSM에서 제시하는 운동강도의 기준으로 살펴보았을 때, 1단계 KFFP는 약 37.1%로 저강도에 해당하였으며, 2단계 KFFP는 약 39.6%로 저강도에 해당하였고, 3단계 KFFP는 약 43.9%로 역시 저강도에 해당하였다. 하지만 VO₂를 통한 절대 강도를 METs로 보았을 때, 1단계 KFFP는 약 19.4 ml/kg/min으로 약 5.5 METs로 중강도에 해당하며 2단계 KFFP는 약 20.5 ml/kg/min으로 약 5.8 METs로 중강도에 해당하며, 3단계 KFFP는 약 22.8 ml/kg/min으로 약 6.5 METs로 고강도에 해당한다. 이는 본 연구의 대상자가 비교적 높은 수준의 심폐 체력을 갖추고 있어서 단계별 KFFP의 상대 강도가 저강도에서 중강도의 운동프로

그램으로 볼 수 있으나 절대 강도로 보았을 때는 중강도에서 고강도 운동프로그램으로 높은 수준의 체력이 요구되는 소방공무원에 요구되는 수준의 체력을 향상시킬 수 있는 수준이라고 볼 수 있다. 최근 한국 소방공무원을 대상으로 실시한 심폐 체력에 관한 연구에서 약 39.7세의 VO_{2max} 는 약 42.7 ml/kg/min으로 상위 50%의 수준이고[7], 약 25.7세의 VO_{2max} 는 약 45.4 ml/kg/min으로 상위 55%의 수준으로 나타났다[8]. 이는 본 연구의 대상자보다 낮은 수준의 체력을 가지고 있는 것으로 나타나 VM를 활용한 단계별 KFFP는 한국 소방공무원에 효과적일 것으로 생각할 수 있다. 단계별 KFFP의 강도의 차이가 나타나는 것은 본 연구진의 의도대로 단계별로 구성된 운동 프로그램의 중량 증가와 운동 동작의 난이도 및 반복 횟수를 조절하면서 나타난 결과로 생각된다. 예를 들어 반복횟수를 조절하여 운동강도를 조절한 하이니(high knee) 운동 동작은 1단계에서는 분당 50회를 실시하도록 하였고 2단계와 3단계에서는 분당 100회를 실시하도록 하였다. 운동동작의 난이도를 조절하여 운동강도를 조절한 예는 스쿼트(squat) 동작으로 1단계에서는 단순히 스쿼트를 실시하였고, 2단계에서는 두 홉 스쿼트(two hop squat)로 스쿼트에서 손으로 땅을 짚는 동작을 추가하게 하였으며, 3단계에서는 점프 스쿼트(jump squat)로 스쿼트에서 점프하는 동작을 추가하도록 하였다. 또한 본 연구에서 실시한 운동은 인터벌 운동의 형태를 지니고 있어 심폐 체력 및 대사 생체표지자의 개선이 가능할 뿐만 아니라 소방공무원의 주된 공상 원인인 심혈관성 및 폐질환을 예방하는 데도 효과적일 것일 것이다 [28]. 대사당량이 11-14 METs의 운동능력을 가지고 있는 대상은 %HRR의 45% 수준의 운동에도 그 효과를 충분히 보일 수 있기 때문에 VM를 활용한 KFFP는 소방공무원에 효과적인 운동 방안이 될 수 있어 보인다[24].

앞서 언급했듯이 VM의 장점 중 하나는 운동 종료 후 대상자의 운동 수행율이 정리되어 나타나는데, 본 연구에서 나타난 수행율은 1단계는 99.35%, 2단계는 94.97%, 3단계는 85.41%로 나타났다. 이를 통해서 단계별 수행율에서 차이가 나타났음을 알 수 있었다. 연구 계획에서 단계별 운동프로그램에 대해 운동 동작의 횟수 증가와 덤벨의 중량 증가로 단계 수준을 분류하였지만 모든 단계에서 비슷한 수행율을 수행하지 못했다. 이는 본 연구 결과의 3단계 KFFP 강도를 명확하게 표기할 수 없는 것일 수도 있으며 3단계의 강도가 과소평가 되었을 수도 있다. 하지만 분명한 점은 본 연구에 참여한 대상자는 소방 직무를 수행하기 위

해 권고되는 심폐 체력보다 높은 수준의 체력 수준을 가지고 있었으며 절대강도로 보았을 때, 3단계 KFFP는 고강도의 수준의 운동 프로그램이라고 볼 수 있다. 따라서 KFFP이 소방공무원에 적합한 수준의 운동 강도를 보인다는 것은 명확하나 추후 1단계, 2단계, 3단계의 운동이 객관적인 지표에 따라 저, 중, 고강도 KFFP로 구분되기 위해서는 운동의 구성을 수정하여 추가적인 연구가 필요하다. 현재 한국 소방공무원의 체력 관리에 대한 법률에 따르면 운동시간을 제시한 것 이외에 구체적인 운동방법은 제시되지 않는다. KFFP는 소방공무원에 요구되는 체력 수준을 갖출 수 운동프로그램으로 검증되어 활용할 수 있는 것으로 보인다. 또한 소방공무원의 체력 증진을 위한 운동 수행의 방해 요소로 나타났던 운동 강사의 부재와 운동장비의 부족함을 해결 방안 중 하나로 제시할 수 있을 것이다[2]. 24시간 교대근무로 운영되는 소방서의 특성상, 운동 강사를 상시 배치하여 소방공무원의 운동 동작에 대한 수정을 VM를 활용한 무인 운동 지도시스템은 높은 효율성을 보일 것으로 예상되며, VM를 활용해 운동하기 위해 필요한 공간은 3.3m²으로 한정된 공간에서 소방공무원에 요구되는 체력 수준을 갖출 수 있어 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

결론

본 연구에서 VM를 활용한 단계별 KFFP는 중, 고강도 운동으로 검증되어 높은 수준의 체력이 요구되는 소방공무원의 심폐 체력 향상에 도움이 될 것으로 생각된다. 또한 24시간 교대근무 형태 및 운동 장비의 문제를 해결할 방안 중 하나가 되기에 충분하다고 생각된다. 본 연구의 결과가 소방공무원의 체력 관리를 위한 하나의 방안으로 활용되기를 바란다.

Acknowledgments

본 연구는 소방청 재난현장 긴급대응 기술개발사업(20013968)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

1. Phillips DB, Scarlett MP, Petersen SR. The influence of body mass on physical fitness test performance in male firefighter applicants. *J Occup Environ Med.* 2017;59(11):1101-1108.
2. Kwon JH, Park SY, Lee CG, et al. The effects of number of fire dispatches and other situational factors on voluntary exercise training among Korean firefighters: a multilevel logistic regression analysis. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(16):5913.
3. Oh CU. Fire officer physical enhancement program status quo and development plan. *J. Korean Soc. Saf.* 2015;10(1):61-97.
4. National fire agency 119 equipment technology bureau information and communication division. 2023 National fire agency statistical yearbook: National fire agency 119, 2023, p 27-38.
5. National fire protection association. NFPA 1582, Standard on comprehensive occupational medical program for fire departments: NFPA. 2018.
6. Ko BG. The relationship between firefighting performance and physical fitness. *Korean J Sport Sci.* 2006;17(1):66-74.
7. Noh KM, Lee KH, Jamrasi P, et al. Physical fitness levels of South Korean national male and female firefighters. *J. Exerc. Sci. Fit.* 2020;18(3):109-114.
8. Kim JB, Kim KT, Cho YS, et al. Evaluation of Korean firefighters' fitness using candidate physical ability test: pilot study. *Asian J. Kinesiol.* 2022;24(3):31-38.
9. Kizony R, Raz L, Katz N, et al. Video-capture virtual reality system for patients with paraplegic spinal cord injury. *J. Rehabil. Res. Dev.* 2005;42(5):595-608.
10. Yang YS, Park JH. Cultural facilities simulation based on virtual reality. *AJMAHS.* 2018;8(8):759-766.
11. Ko JE, Lee HJ. The effects of exercise based on virtual reality on gross motor function and balance of adolescents with cerebral palsy. *J. Spec. Educ. Rehabil. Sci.* 2017;56(2):189-218.
12. Kim SH, Kim HG, Lee JH. Effect of virtual reality based exercise program on the upper extremity function and activities of daily living in stroke patients. *JRSR.* 2013;17(2):373-391.
13. Kim YG, Kang SH. Effects of virtual reality-based exercise on balance, gait, and falls efficacy in patients with Parkinson's disease: a pilot study. *KSIM.* 2016;4(2):1-11.
14. Go DS, Jung DI, Lee SH. Physical functions of industrial workers with chronic low back pain and changes in health-related quality of life according to virtual reality exercise program. *JKASI.* 2012;13(10): 4564-4571.
15. Lee SW. The effects of a virtual reality exercise program on physical function and falls efficacy in elderly persons with type 2 diabetes. 2011; Seoul: The graduate school of Ewha womans University.
16. Shin JW, Kim CH. A combined study on development of virtual reality based healthcare system for core exercise-Focused on water board concept simulator and VR conte. *KSAF.* 2018;35:261-270.
17. Lee YJ, Moon MK. An approach to develop fitness management system using VR sports. *Journal of IKEEE.* 2018;22(4):978-984.
18. Baram Y, Aharon-Peretz J, Lenger R. Virtual reality feedback for gait improvement in patients with idiopathic senile gait disorders and patients with history of stroke. *J. Am. Geriatr. Soc.* 2010;58(1):191-192.
19. Song KS, Kim DS, Lee HJ, et al. Development and evaluation of virtual reality exercise system based on EMG feedback for trunk core muscle activity. *J. of RWEAT.* 2019;13(4):326-332.
20. Kim JJ, Kim YS, Kim DH, et al. The comparison of motion errors with and without visual feedback during hip exercise in environment of virtual reality. *JLS.* 2011;45(2):947-953.
21. IAFF. International association of fire fighter. candidate preparation Guide: IAFF, 2007, p 16-29.
22. Sung BJ, Go BG, Kim JH, et al. Firefighter fitness improvement program development: Gyeong-Do Fire Service Academy, 2008, p 2-155.
23. Thomas S, Reading J, Shephard RJ. Revision of the physical activity readiness questionnaire (PAR-Q). *Can J Sport Sci.* 1992;17(4):388-345.
24. ACSM. ACSM's guidelines for exercise testing and prescrip-

- tion: Lippincott Williams & Wilkins, 2022(11th ed), p 49-92.
25. Ryu KH, Park DH, Yoon SW, et al. Analysis on the heart rate responses at LT and OBLA of swimmers according to graded exercise test methods. *Korean J. Sport Sci.* 2003;14(2):88
26. Ko JS. Optimal exercise intensity to aerobic fitness assessment and exercise prescription. 2009; Seoul: The graduate school of Yonsei university.
27. Poplin GS, Roe DJ, Peate W et al. The association of aerobic fitness with injuries in the fire service. *Am J Epidemiol.* 2014; 179(2):149-155.
28. Mang ZA, Vigil ED, Beam JR. Utilizing multimodal high-intensity interval training for a firefighter training academy during the COVID-19 pandemic. 2023; *Work*, (Preprint):1-11.